



НТО

МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

Всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников

«Национальная технологическая олимпиада»

по профилю

«Ядерные технологии»

2023/24 учебный год

<http://ntcontest.ru>

УДК 373.5.016:621.039

ББК 74.263.0

Я34

Авторы:

Д.А. Казаков, И.А. Кобец, Л.В. Колобашкина, Н.Ю. Кузнецов, И.Г. Кулло,
А.О. Толоконский

Я34 Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8-11 класса
«Национальная технологическая олимпиада». Учебно-методическое пособие
Том 28 **Ядерные технологии**
—М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2024. — 162 с.

ISBN 978-5-00147-618-4

Данное пособие разработано коллективом авторов на основе опыта проведения всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников 8-11 класса «Национальная технологическая олимпиада» в 2023/24 учебном году, а также многолетнего опыта проведения инженерных соревнований для школьников. В пособии собраны основные материалы, необходимые как для подготовки к олимпиаде так и для углубления знаний и приобретения навыков решения инженерных задач.

В издании приведены варианты заданий по профилю Национальной технологической олимпиады за 2023/24 учебный год с ответами, подробными решениями и комментариями. Пособие адресовано учащимся 8–11 классов, абитуриентам, школьным учителям, наставникам и преподавателям учреждений дополнительного образования, центров молодежного и инновационного творчества и детских технопарков.

Методические материалы также могут быть полезны студентам и преподавателям направлений, относящихся к группам:

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

14.00.00 Ядерная энергетика и технологии

15.00.00 Машиностроение

27.00.00 Управление в технических системах

ISBN 978-5-00147-618-4

УДК 373.5.016:621.039

ББК 74.263.0



9 785001 476184 >

Оглавление

1 Введение	5
2 Ядерные технологии	17
I Работа наставника НТО на первом отборочном этапе	19
II Первый отборочный этап	20
II.1 Предметный тур. Информатика и информационные технологии	20
II.1.1 Первая волна. Задачи 8–11 класса	20
II.1.2 Вторая волна. Задачи 8–11 класса	32
II.1.3 Третья волна. Задачи 8–11 класса	43
II.2 Предметный тур. Физика	57
II.2.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса	57
II.2.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса	62
II.2.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса	67
II.2.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса	72
II.2.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса	77
II.2.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса	83
II.3 Инженерный тур	89
III Работа наставника НТО на втором отборочном этапе	92
IV Второй отборочный этап	93
IV.1 Индивидуальные задачи	93
IV.2 Командные задачи	104

V	Работа наставника НТО при подготовке к заключитель-	
	ному этапу	108
VI	Заключительный этап	109
VI.1	Предметный тур	109
VI.1.1	Информатика и информационные технологии. 8–11 классы	109
VI.1.2	Физика. 8–9 классы	118
VI.1.3	Физика. 10–11 классы	123
VI.2	Инженерный тур	130
VI.2.1	Общая информация	130
VI.2.2	Сюжет задачи	130
VI.2.3	Требования к команде и компетенциям участников	131
VI.2.4	Оборудование и программное обеспечение	131
VI.2.5	Описание задачи	132
VI.2.6	Система оценивания	151
VI.2.7	Решение задачи	152
VI.2.8	Материалы для подготовки	157
VII	Критерии определения победителей и призеров	158
VIII	Работа наставника после НТО	160

Введение

Национальная технологическая олимпиада

Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников «Национальная технологическая олимпиада» (далее — НТО) проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.02.2022 № 211-р при координации Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и при содействии Министерства просвещения Российской Федерации, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Ассоциации участников технологических кружков, Агентства стратегических инициатив по продвижению новых проектов, АНО «Россия — страна возможностей», АНО «Платформа Национальной технологической инициативы».

Проектное управление Олимпиадой осуществляет структурное подразделение Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» — Центр Национальной технологической олимпиады. Организационный комитет по подготовке и проведению Национальной технологической олимпиады возглавляют первый заместитель Руководителя Администрации Президента Российской Федерации С. В. Кириенко и заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Д. Н. Чернышенко.

Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8–11 класса «Национальная технологическая олимпиада» — это командная инженерная Олимпиада, позволяющая школьникам работать в 41-м инженерном направлении. Она базируется на опыте Олимпиады Кружкового движения НТИ и проводится с 2015 года, а с 2016 года входит в перечень Российского совета олимпиад школьников и дает победителям и призерам льготы при поступлении в университеты.

Всего заявки на участие в девятом сезоне (2023–24 гг.) самых масштабных в России командных инженерных соревнованиях подали более 141 тысячи школьников и студентов из всех регионов страны и семи зарубежных государств: Азербайджана, Белоруссии, Казахстана, Киргизии, Молдовы, Узбекистана и Черногории. Общий охват олимпиады с 2015 года превысил 660 000 участников. <https://journal.kruzhok.org/tpost/pggs3bp7y1-tehnologicheskaya-podgotovka-inzhenernih>



НТО способствует формированию профессиональной траектории школьников, увлеченных научно-техническим творчеством:

- определить свой интерес в мире современных технологий;
- получить опыт решения комплексных инженерных задач;
- осознанно выбрать вуз для продолжения обучения и поступить в него на льготных условиях.

Кроме того, НТО позволяет каждому участнику познакомиться с перспективными направлениями технологического развития и ведущими экспертами, а также найти единомышленников.

Ценности НТО

Национальная технологическая олимпиада — командные инженерные соревнования для школьников и студентов. Особое пространство Олимпиады создают общие ценности и смыслы, которые предлагается разделять всем: участникам, организаторам, наставникам, экспертам.

Основа всей олимпиады — это современное технологическое образование как новый уклад жизни в современном мире. Этот уклад подразумевает доступность качественного образования для каждого заинтересованного человека, возможность постепенно и непрерывно учиться и развиваться, совместно создавать среду, в которой гуманитарное знание и новые технологии взаимно дополняют друг друга. Это идеал будущего общества. Участники Олимпиады уже сейчас попадают в такое будущее.

Как организаторы мы надеемся, что принципы, заложенные в основу НТО, станут общими принципами для всех, кто имеет отношение к Олимпиаде.

Решать прикладные задачи, нацеленные на умножение общественного блага

В соревнованиях и подготовке к ним мы адаптируем реальные задачи современной науки и производства к знаниям и навыкам, которые могут освоить школьники и студенты. Задачи имеют прикладное значение для людей и не оторваны от реальности. Мы стремимся к тому, чтобы участники понимали, для чего нужно решать такие задачи, кому в мире станет лучше, если они будут решаться системно и профессионально. Ценность Олимпиады заключается в том, что здесь можно попробовать себя в этом, и найти единомышленников для решения подобных задач в будущем.

Создавать, а не только потреблять

Создание новых решений мы ставим выше стремления потреблять уже созданное. Создание ценности для других ставим выше поиска личной выгоды. Это не значит, что нужно забыть о себе и самоотверженно посвятить всю свою жизнь делу технологического прогресса. Но творчество всегда приносит большую радость, чем потребление. Это относится и ко всей олимпиаде.

Олимпиада — это общее дело организаторов, партнеров и участников. Способность принимать проблемы олимпиады как свои и пытаться решить их ценнее для творческого человека, чем желание найти недостатки в работе других.

Работать в команде

Способность работать в команде — это не только эффективная стратегия действия в современном мире. Работа в команде не отрицает наличия свободной воли каждого конкретного участника, его значимости и права на собственное мнение. Но в сообща мы стремимся достигнуть общей цели, опираясь на взаимное уважение всех участников, учитывая интересы и слабые и сильные стороны каждого.

Команды формируют целые сообщества, которые имеют сходные цели и ценности и могут очень многое, поскольку сильные горизонтальные связи помогают реализовывать самые дерзкие и амбициозные задачи. Это то, что нужно для технологического развития. Мы заняты построением такого сообщества и надеемся, что вы захотите стать его частью.

Осваивать и ответственно развивать новые технологии

Сообщество Национальной технологической олимпиады — часть Кружкового движения НТИ. Это прежде всего сообщество людей, увлеченных современными технологиями. Нас всех объединяет стремление разобраться в них, создать что-то новое и найти таких же увлеченных единомышленников.

Мы — часть сообщества технологических энтузиастов, и для нас границы возможностей технологий всегда подвижны. Именно поэтому просим не забывать об этике инженера и ученого, ответственности за свои изобретения перед людьми, которых это касается. Творя новое, не навреди!

Играть честно и пробовать себя

Мы признаем, что победа в соревнованиях важна и нужна. Но утверждаем, что для победы не все средства хороши и цель не является оправданием для грязной игры. Победа должна быть заслужена в рамках правил, единых для всех. Человек, который играет честно, не будет списывать, интриговать, подставлять других и заниматься прочей нездоровой конкуренцией.

Человек, который играет честно, — уважает себя, свою команду и соперников. Он принимает правила игры и в заданных рамках доказывает право на победу.

Мы бережем пространство Олимпиады как безопасное для всех участников. Это помогает искать себя, и при этом не бояться пробовать новые задачи, определять свой дальнейший путь, учиться на ошибках и каждый год становиться более сильным и подготовленным.

Быть человеком

Соревнования — это очень сложный и эмоционально насыщенный процесс. Что-бы он приносил радость и пользу всем, мы призываем всех участников вести себя порядочно и думать не только о себе.

Вежливость, эмпатия и забота — вот что делает процесс комфортным и полезным для всех. Мы ценим уважение труда каждого человека и его позиции, бережное отношение к работе и жизни каждого. И просим отказаться от токсичной оценочной критики — она не решит ваши проблемы, а сделает хуже вам, другому и всей

Олимпиаде в целом.

Человек, который остается человеком, умеет признавать ошибки и отвечать за слова и дела перед другими. Здесь это ценят. Встав перед альтернативой между сиюминутной выгодой, капризом и общей целью соревнования — человек выберет последнее и поможет другим, организаторам и участникам, поддержать эту цель.

Важное замечание. Этот текст — живое выражение смыслов и ценностей Национальной технологической олимпиады. Он будет меняться вместе с развитием нашего сообщества. Авторы с благодарностью примут помощь от всех, кто чувствует сопричастность ценностям и готов включиться в их доработку.

Организационная структура НТО

НТО — межпредметная олимпиада. Спектр соревновательных направлений (профилей НТО) сформирован на основе актуального технологического пакета и связан с решением современных проблем в различных технологических отраслях. С полным перечнем направлений (профилей) можно ознакомиться на сайте НТО: <https://ntcontest.ru/tracks/nto-school/>.



Соревнования в рамках НТО проводятся по четырем направлениям:

1. НТО Junior для школьников (5–7 классы).
2. НТО школьников (8–11 классы).
3. НТО студентов.
4. Конкурс цифровых портфолио «Талант НТО».

В 2023/24 учебном году 28 профилей НТО включены в Перечень олимпиад школьников, утверждаемый Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также в Перечень олимпиад и иных интеллектуальных и (или) творческих конкурсов, утверждаемый приказом Министерства просвещения Российской Федерации, что дает право победителям и призерам профилей НТО поступать в вузы страны без вступительных испытаний (БВИ), получить 100 баллов ЕГЭ или дополнительные 10 баллов за индивидуальные достижения. Преимущества при поступлении победителям и призерам НТО предлагают более 100 российских вузов.

НТО для старшеклассников проводится в три этапа:

- Первый отборочный этап — заочный индивидуальный. На данном этапе участникам предлагаются задачи по двум предметам, соответствующим тому или

иному профилю, а также задания, формирующие теоретические знания и представления по направлениям выбранных профилей.

- Второй отборочный этап — заочный командный. На данном этапе участникам предлагаются индивидуальные компетентностные и командные задачи, связанные с направлением выбранного профиля.
- Заключительный этап — очный командный. Этап представляет собой очные соревнования длительностью 5–6 дней, куда приезжают команды со всей страны, успешно справившиеся с двумя отборочными этапами, и решают комплексные прикладные инженерные задачи.

Профили НТО 2023/24 учебного года и соответствующий уровень РСОШ

Профили II уровня РСОШ

- Автоматизация бизнес-процессов
- Беспилотные авиационные системы
- Водные робототехнические системы
- Инженерные биологические системы
- Интеллектуальные робототехнические системы
- Нейротехнологии и когнитивные науки
- Технологии беспроводной связи

Профили III уровня РСОШ

- Автономные транспортные системы
- Анализ космических снимков и геопространственных данных
- Аэрокосмические системы
- Большие данные и машинное обучение
- Геномное редактирование
- Интеллектуальные энергетические системы
- Информационная безопасность
- Искусственный интеллект
- Летающая робототехника
- Наносистемы и наноинженерия
- Новые материалы
- Передовые производственные технологии
- Разработка компьютерных игр
- Спутниковые системы
- Технологии виртуальной реальности
- Технологии дополненной реальности
- Технологическое предпринимательство
- Умный город
- Фотоника
- Цифровые технологии в архитектуре
- Ядерные технологии

Профили без уровня РСОШ

- Научная медиакommunikация
- Программная инженерия в финансовых технологиях
- Современная пищевая инженерия
- Технологическое мейкерство
- Урбанистика
- Цифровое производство в машиностроении
- Цифровой инжиниринг в строительстве
- Цифровые сенсорные системы

Новые профили без уровня РСОШ

- Инфохимия
- Квантовый инжиниринг
- Технологии компьютерного зрения и цифровые сервисы
- Цифровая гидрометеорология
- Цифровое месторождение

Обратите внимание, что в олимпиаде 2024/25 года список профилей, в т.ч. входящих в РСОШ, и уровни РСОШ — могут поменяться.

Участие в НТО может принять любой школьник, обучающийся в 8–11 классе. Чаще всего Олимпиада привлекает:

- учащихся технологических кружков, любители инженерных и робототехнических соревнований;
- олимпиадников, которым интересны межпредметные олимпиады;
- фанатов и адептов передовых технологий;
- школьников, участвующих в хакатонах, проектных конкурсах и школах;
- будущих предпринимателей, намеревающихся найти на Олимпиаде единомышленников для будущего стартапа;
- увлекающихся школьников, которые хотят видеть предмет шире учебника.

Познакомить школьников с НТО и ее направлениями, замотивировать принять участие в НТО можно с помощью специальных мероприятий: Урок НТО и Дни НТО. Как педагогу провести Урок НТО, или как в образовательном учреждении организовать День НТО можно познакомиться в методических рекомендациях на сайте НТО. Там же можно выбрать и скачать необходимые уроки и подборки материалов по направлениям <https://nti-lesson.ru/>.



Участвуя в НТО, школьники получают возможность работать с практикоориентированными задачами в области прорывных технологий, собирать команды единомышленников, включаться в профессиональное экспертное сообщество, а также заработать льготы для поступления в вузы.

У НТО есть площадки подготовки по всей стране, которые занимаются привлечением участников и проводят мероприятия по подготовке к соревнованиям. Они могут быть открыты:

- в организациях общего и дополнительного образования;
- на базе частных кружков в области программирования, робототехники и иных технологий;
- в вузах;
- технопарках

и других организациях.

Каждое образовательное учреждение, ученики которого участвуют в НТО или НТО Junior, может стать площадкой подготовки к олимпиаде, что дает возможность включиться в Кружковое движение НТИ.

На сайте НТО размещены инструкции о том, как организация может стать площадкой подготовки: <https://ntcontest.ru/mentors/stat-ploshadkoi/>. Условия регистрации и требования к работе площадок подготовки обновляются вместе с развитием олимпиады. Обновленная версия размещается на сайте перед началом нового цикла олимпиады.



Наставники НТО

В НТО большое внимание уделяется работе с наставниками. Наставник НТО оказывает всестороннюю поддержку участникам Олимпиады, помогая решать организационные вопросы и развивать как технические знания и компетенции, так и социальные навыки, связанные с работой в команде.

Наставником может стать любой человек, которому интересно сопровождать участников и помогать им формировать необходимые для решения технологических задач компетенции и готовиться к соревнованиям. Это может быть преподаватель школы или вуза, педагог дополнительного образования, руководитель кружка, эксперт в технологической области, представитель бизнеса и т. п. Если наставнику не хватает собственных знаний, он может привлекать коллег и внешних экспертов и

поддерживать усилия и мотивацию учеников, которые разбирают задачи самостоятельно. На данный момент сообщество наставников НТО включает в себя более 7 тысяч человек.

Главная задача наставника — выстроить комплексную структуру подготовки к Олимпиаде в течение всего учебного года. В области ответственности наставника находится поддержка мотивации участников и помощь в решении возникающих проблем. Не менее важно зафиксировать цели и ожидания от предстоящих соревнований, что поможет оценить прирост профессиональных компетенций, личных и командных навыков за время подготовки.

Примеры организационных задач, которые стоят перед наставником НТО:

- Информирование и работа с мотивацией. На этапе регистрации на Олимпиаду наставник привлекает участников, рассказывая, что такое НТО и какие преимущества она предлагает. Наставнику необходимо разобраться в устройстве НТО, этапах и расписании этапов, а также изучить профили, чтобы помочь каждому ученику выбрать наиболее перспективные и интересные для него направления.
- Формирование программы подготовки. Наставник составляет график подготовки к НТО и следит за его реализацией, руководя процессом подготовки учеников.
- Отслеживание сроков. Наставник следит за сроками проведения этапов НТО и напоминает участникам о необходимости своевременной загрузки решений на платформу.

Примеры задач наставника, связанных с непосредственной подготовкой к соревнованиям:

- Анализ компетенций участников. Наставник вместе с учениками оценивает компетенции, которые необходимы для успешного участия в НТО, выявляет нехватку знаний и навыков и отбирает материалы и задачи, которые ученикам нужно изучить и решить.
- Содержательная подготовка к первому и второму отборочному этапу. Наставник вместе с учениками изучает материалы для подготовки, рекомендованные разработчиками выбранных профилей, а также разбирает и решает задачи НТО прошлых сезонов. Рекомендуется использовать записи вебинаров, материалы и онлайн-курсы профилей.
- Содержательная подготовка к заключительному этапу. Наставник может использовать разборы задач заключительного этапа прошлых лет, а также следить за расписанием подготовительных очных и дистанционных мероприятий и рекомендовать ученикам их посещать.

Примеры задач наставника в области развития социальных навыков, связанных с развитием личной эффективности и взаимодействия с другими участниками:

- Формирование команд. Второй отборочный этап НТО проходит в командном формате. Наставник помогает ученикам сформировать эффективную команду с оптимальным распределением ролей. В ряде случаев он может содействовать в поиске недостающих участников команды, в том числе в других городах и стать наставником такой команды, коммуникация в которой осуществляется через web-сервисы.
- Отслеживание прогресса и анализ полученного опыта. Наставник проводит ре-

флексию прогресса отдельных участников и команды по результатам каждого этапа НТО и после завершения участия в соревнованиях. Это помогает участникам оценить свое движение по траектории соревнований, сильные и слабые стороны, сформулировать, каких компетенций не хватило для более высокого результата и как их можно улучшить в будущем.

- Поддержка и мотивирование участников. Наставник поддерживает интерес учеников к соревнованиям, а также помогает им сохранять высокую мотивацию, что особенно важно, если команда показала результаты хуже, чем ожидалось.
- Выстраивание индивидуальной образовательной траектории. Наставник может помочь ученикам осознанно создать собственную траекторию развития, в том числе вне НТО: подбор обучающих курсов и соревнований, выбор вуза и направления дальнейшего обучения.

Поддержка наставников НТО

Работе наставников посвящен отдельный раздел на сайте НТО: <https://ntcontest.ru/mentors/>.



Для систематизации знаний и подходов к работе наставников в рамках инженерных соревнований разработан курс «Дао начинающего наставника: как сопровождать инженерные команды»: <https://stepik.org/course/124633/promo>. Курс формирует общие представления о работе наставников в области подготовки участников к инженерным соревнованиям.



Для совершенствования профессиональных компетенций по направлениям профилей разработан курс «Дао наставника: как развивать технологические компетенции»: <https://stepik.org/course/186928/promo>.



Наставникам для ведения занятий с учениками предлагаются образовательные программы, разработанные на основе восьмилетнего опыта организации подготовки к НТО. В настоящий момент такие программы представлены по 10-ти передовым технологическим направлениям:

- компьютерное зрение;
- геномное редактирование;
- водная, летающая и интеллектуальная робототехника;
- машинное обучение и искусственный интеллект;
- нейротехнологии;
- беспроводная связь, дополненная реальность:

и др.

<https://ntcontest.ru/mentors/education-programs/>.



Регистрируясь на платформе НТО, наставники получают доступ к личному кабинету, в котором отображается расписание отборочных соревнований и мероприятий по подготовке, требования к знаниям и компетенциям при решении задач отборочных этапов.

Формируется сообщество наставников НТО. Ежегодно Кружковое движение НТИ проводит Всероссийский конкурс технологических кружков: <https://konkurs.kruzhok.org>, принять участие в котором может каждый наставник. По итогам конкурса кружки-участники размещаются на Всероссийской карте кружков: <https://map.kruzhok.org>.



В 2022 году был разработан Навигатор для наставников команд или отдельных участников НТО: <https://www.notion.so/bdlv/5a1866975c2744728c2bd8ba80d21ec2>.



Навигатор ориентирован на начинающих наставников и помогает погрузиться в работу с НТО. Опытным наставникам Навигатор может быть полезен как сборник важных рекомендаций и статей:

- Смогут ли мои ученики принять участие в НТО.
- Как наставнику зарегистрироваться в НТО.
- Как помочь участникам выбирать профили.
- Что можно успеть сделать, если я и мои ученики начнем участвовать с нового учебного года.
- Как убедить руководство включиться в НТО.
- Что важно знать, начиная подготовку школьников.
- Как организовать подготовку.
- Как проводить рефлексию.
- Как мотивировать участников.
- Как работать с командой участников НТО.

Организаторы Олимпиады также оказывают экспертно-методическую поддержку сообществу наставников. Были разработаны методические рекомендации для наставников: «Технологическая подготовка инженерных команд»: <https://journal.kruzhok.org/tpost/pggs3bp7y1-tehnologicheskaya-podgotovka-inzhenernih>. Рассмотрены особенности подготовки к 5-ти направлениям:

- Большие данные.
- Машинное обучение.

- Искусственный интеллект.
- Спутниковые системы.
- Летаящая робототехника.



Для наставников НТО разработан и постоянно пополняется страница с материалами для профессионального развития: <http://clc.to/for-mentor>.



Ядерные технологии

Профиль «Ядерные технологии» нацелен на задачи, связанные с развитием цифровизации в атомной энергетике и промышленности. Участникам предоставляется возможность построить цифровую модель и систему управления, функционирующую в режиме реального времени в среде разработки, применяющейся в атомной отрасли для построения реальных систем управления.

Первый отборочный этап состоит из предметного и инженерного туров и включает в себя решение олимпиадных задач по двум школьным предметам: информатика и физика, а также теоретические знания и их проверка по основам ядерных технологий и их применению в современной индустрии, особенно в ядерной энергетике. Хорошие знания по информатике и физике необходимы участникам профиля, так как требуются для решения задач второго отборочного и заключительного этапов. Теоретические знания и их проверка необходимы для понимания физических процессов в ядерной физике и процессов управления объектами, где применяются ядерные технологии.

На втором отборочном этапе участники знакомятся с легендой задачи финального этапа путем решения задач в области построения математической модели объекта управления, решая задачи по темам:

- физика;
- численное решение дифференциальных уравнений;
- программирование на языке C.

Участникам необходимо, используя методический материал, подготовить систему дифференциальных уравнений, описывающих динамику объекта управления; построить разностную схему для системы дифференциальных уравнений по методу Эйлера; реализовать полученный на основе разностной схемы алгоритм расчета переходного процесса в виде программы на языке C; с помощью полученной программы рассчитать значения динамических параметров предлагаемого объекта управления.

В заключительном этапе все полученные на предыдущих этапах знания участники используют при работе с цифровой моделью объекта управления. Для реализованной модели выбирается закон управления, который позволяет поддерживать заданные технологические параметры в безаварийных диапазонах для всей реакторной установки. Помимо реализации цифровой модели и системы управления в рамках решения задачи заключительного этапа командам участников предлагается сконструировать и реализовать человеко-машинный интерфейс, который поможет оперативно и безошибочно проводить мероприятия по управлению реализованной моделью объекта и проведению экспериментов по исследованию и улучшению характеристик исследуемого объекта управления.

Полученные в процессе выполнения индивидуальных и командных заданий компетенции помогают участникам получить представление об основных специальностях ядерной отрасли, связанной с автоматизацией ядерных энергетических установок и построением киберфизических систем управления. Предложенные конкурсные задания дают возможность участникам понять, какие направления науки и техники важны для получения специальности, связанной с автоматизацией процессов управ-

ления. А также финалисты олимпиады могут увидеть взаимосвязь между такими предметами, изучаемыми в школе, как математика, физика и информатика — базовыми дисциплинами, на которых построены ядерные технологии.

Профиль открывает для абитуриентов двери по таким направлениям в вузах, как «ядерные физика и технологии», «ядерная энергетика и теплофизика», «приборостроение», «автоматика и электроника физических установок», «мехатроника и робототехника».

Работа наставника НТО на первом отборочном этапе

На первом отборочном этапе НТО участникам предлагаются задачи по предметам, соответствующим выбранным профилям. Для подготовки к первому отборочному этапу Олимпиады наставник может использовать следующие рекомендуемые форматы и мероприятия:

- Разбор задач первого отборочного этапа НТО прошлых лет.
- Мини-соревнования по решению задач предметных олимпиад муниципального уровня.
- Углубленные занятия по разделам предметов в соответствии с рекомендациями разработчиков профилей.

Для проверки, самостоятельного решения или проведения мини-соревнований могут использоваться предметные курсы НТО на платформе Stepik. Также возможно привлечение других преподавателей-предметников для проведения занятий в случае, если у наставника недостаточно компетенций в области предметных олимпиад.

Инженерный тур состоит из курса или теоретических материалов, погружающих участников в тематику профиля, и теоретических и практических заданий, как правило связанных с теорией.

Первый отборочный этап

Предметный тур. Информатика и информационные технологии

Первая волна. Задачи 8–11 класса

Задача II.1.1.1. Авиакомпания (9 баллов)

Темы: базы данных.

Условие

Даны фрагменты двух таблиц базы данных некоторой авиакомпании. Исходя из информации данных таблиц, определите, сколько человек вылетели из Москвы в интервале от 12 до 18 часов за 05.07.2023 и 06.07.2023.

Обратите внимание, что в разные даты один и тот же номер рейса может иметь разные пункты вылета и пункты прилета.

Таблица II.1.1: passengers

id	first_name	last_name	birth	document	flight_num	flight_date	status
1	Ivan	Ivanov	25.05.1999	*****	104	05.07.2023	True
2	Anna	Smirnova	24.05.2002	*****	104	05.07.2023	False
3	Ekaterina	Kuznetsova	04.02.1996	*****	105	05.07.2023	True
4	Aleksandr	Popov	06.04.1994	*****	103	05.07.2023	True
5	Elena	Vasilieva	03.11.1994	*****	104	05.07.2023	False
6	Sergei	Petrov	25.06.1984	*****	103	05.07.2023	False
7	Daniil	Sokolov	07.12.2000	*****	101	06.07.2023	True
8	Anastasia	Mikhailova	15.12.2002	*****	103	05.07.2023	True
9	Mikhail	Novikov	05.02.1993	*****	105	05.07.2023	True
10	Elizaveta	Fedorova	18.05.2004	*****	102	05.07.2023	True
11	Evgeniy	Morozov	26.09.2001	*****	101	05.07.2023	True
12	Semen	Volkov	16.08.1988	*****	103	05.07.2023	True
13	Vladislav	Alekseev	18.07.1981	*****	102	05.07.2023	True
14	Maksim	Lebedev	20.03.1988	*****	104	05.07.2023	False
15	Aleksandra	Semenova	27.06.1998	*****	102	05.07.2023	True
16	Kristina	Egorova	03.06.1999	*****	101	05.07.2023	True
17	Arina	Pavlova	21.05.1983	*****	102	05.07.2023	True
18	Dmitriy	Kozlov	07.05.1982	*****	101	06.07.2023	False
19	Danil	Stepanov	02.08.1986	*****	101	06.07.2023	True
20	Anna	Nikolaeva	20.04.1981	*****	101	05.07.2023	True
21	Rostislav	Orlov	27.03.1987	*****	101	06.07.2023	False

Таблица II.1.2: `flights`

id	flight_num	departure	arrival	flight_date	flight_date	status
1	101	Moscow	Kazan	05.07.2023	14:00	True
2	102	Moscow	Sochi	05.07.2023	15:30	False
3	103	Vladivostok	Novosibirsk	05.07.2023	09:00	True
4	104	Moscow	Ufa	05.07.2023	17:20	True
5	105	Moscow	Saint Petersburg	05.07.2023	19:00	True
6	101	Kazan	Kaliningrad	06.07.2023	11:15	True

Таблица `passengers` является информацией о пассажирах, которые приобрели билеты на рейсы данной авиакомпании.

В колонках:

- `id` — номер записи в таблице;
- `first_name` — имя пассажира;
- `second_name` — фамилия пассажира;
- `birth` — дата рождения;
- `document` — номер документа, по умолчанию в авиакомпании он скрыт;
- `flight_num` — номер рейса, на который пассажир приобрел билет;
- `flight_date` — дата вылета рейса;
- `status` — активен ли статус пассажира на данный рейс, если `True` — пассажир полетит (или уже полетел), `False` — билет был сдан.

Таблица `flights` является информацией о рейсах авиакомпании.

В колонках:

- `id` — номер записи в таблице;
- `flight_num` — номер рейса;
- `departure` — город вылета;
- `arrival` — город прилета;
- `flight_date` — дата вылета рейса;
- `departure_time` — время вылета рейса;
- `status` — активен ли статус рейса, если `True` — будет выполнен (или уже выполнен), `False` — рейс отменен.

Решение

Исходя из условия задачи, выберем те рейсы, которые подходят, их всего два.

101	Moscow	Kazan	05.07.2023	14:00	True
104	Moscow	Ufa	05.07.2023	17:20	True

Далее идем по таблице и ищем всех людей, которые летят 05.07.2023 номерами рейсов 101 или 104 со статусом `True`.

Людей с номером рейса 101, но датой вылета 06.07.2023 в расчет не берем, так как этот рейс не вылетает из Москвы.

1	Ivan	Ivanov	25.05.1999	*****	104	05.07.2023	True
11	Evgeniy	Morozov	26.09.2001	*****	101	05.07.2023	True
16	Kristina	Egorova	03.06.1999	*****	101	05.07.2023	True
20	Anna	Nikolaeva	20.04.1981	*****	101	05.07.2023	True

Ответ: 4.

Задача II.1.1.2. Вечный XOR (9 баллов)

Темы: алгебра логики.

Условие

Дано число 11011001 в двоичной системе счисления. К данному числу применяется операция XOR на другое, неизвестное нам, восьмизначное число в двоичной системе счисления. После операции выполняется проверка: если результат операции меньше восьмизначного, к нему дописываются незначащие нули. Такой проверкой мы поддерживаем восьмизначный формат числа. После этого операция XOR и проверка выполняются снова в той же последовательности так до бесконечности...

Определите восьмизначное неизвестное число, которое применяется в операции XOR, если известно, что на 127 применении операции в этом алгоритме результат до проверки был равен 1100011.

Решение

Заметим одну интересную особенность функции XOR: если взять результат операции XOR числа 217 и любого числа x (допустим 3) и к результату вновь применить операцию XOR с числом x (в нашем случае 3), то мы вернемся к исходному числу.

$$\begin{array}{rcl}
 11011001 & = & 217 \\
 \wedge & & \\
 1100011 & = & 99 \\
 \hline
 10111010 & = & 186
 \end{array}$$

Получается, что на 127-й по счету операции XOR, то есть нечетной, будет получено промежуточное число, которое по условию равно 1100011 или 99.

Осталось лишь узнать неизвестное число x , которое будет давать 99 в результате XOR с исходным числом 217.

Для этого можно узнать результат XOR между числами 217 и 99.

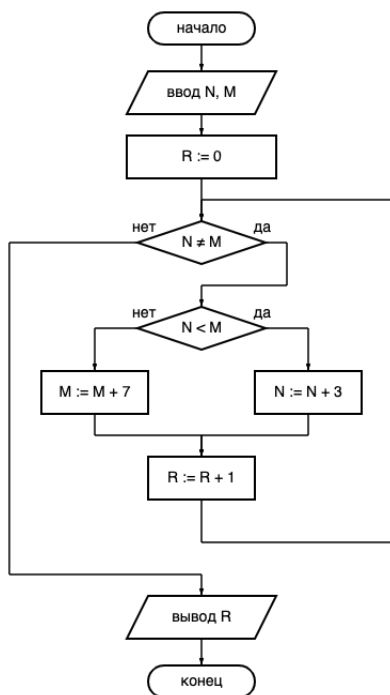
Ответ: 186.

Задача II.1.1.3. Сколько раз (11 баллов)

Темы: анализ алгоритмов.

Условие

Дана блок-схема алгоритма. Какое число будет выведено, если на вход были поданы $N = 41$ и $M = 57$.

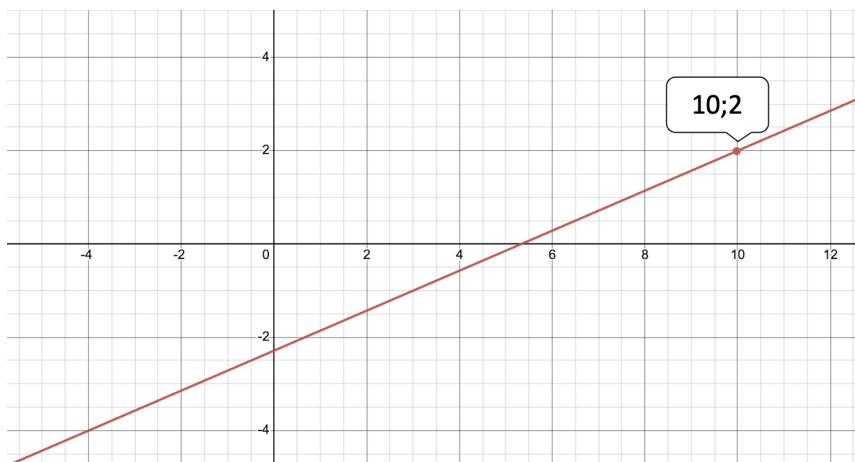


Решение

Начальные значения чисел $n = 41$ и $m = 57$. Как видно из алгоритма, программа будет прибавлять 3 к числу n (если $n < m$) и прибавлять 7 к числу m (если $m < n$) до тех пор, пока эти числа не станут равны. Значит сумма, прибавленная к числу n должна быть больше суммы прибавленной к числу m на $57 - 41 = 16$, из чего можно составить уравнение:

$$3x - 7y = 16.$$

Отсюда можно подобрать два таких целых, минимальных x и y , при которых это уравнение будет верно. Также можно построить график и найти, где он впервые проходит через целые положительные координаты.



Раз $x = 10$, а $y = 2$ то суммарное количество операций будет равно 12.

Ответ: 12.

Задача II.1.1.4. Дорога до работы (11 баллов)

Темы: графы.

Условие

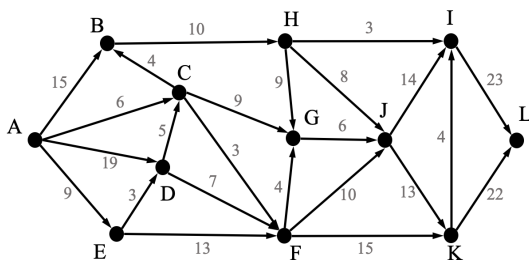
На рисунке приведена схема района «Северный», где каждая вершина графа, показанная латинскими буквами от A до L , обозначают объекты его инфраструктуры, а ребра — дороги между ними.

Гарантируется, что никаких других путей в этом районе нет и что двигаться можно лишь по направлению ребер, которое указано стрелками.

Рядом с каждой дорогой указана ее пропускная способность, которая показывает предельное количество машин, проходящих через эту дорогу за единицу времени.

Буквой A обозначен новый жилой комплекс, а буквой L — IT-парк, в который все ездят на работу с утра.

Ваша задача узнать — какое максимальное количество машин может проходить утром по дорогам этого района в единицу времени или же максимальную пропускную способность данного графа.

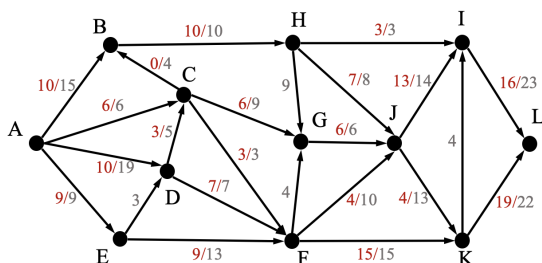


Решение

Для решения этой задачи воспользуемся теоремой **max-flow min cut** о максимальном потоке и минимальном разрезе, которая утверждает, что в сети потоков максимальный объем потока, проходящего от истока к стоку, равен общему весу ребер в минимальном разрезе, т. е. наименьший общий вес ребер, удаление которых отключило бы исток от стока.

Самым минимальным разрезом является удаление ребер BH , CF , DF , AE и GJ с суммой $10 + 3 + 7 + 9 + 6 = 35$, все другие разрезы отключающие исток от стока будут иметь большую сумму.

Стоит отметить, что данную задачу можно было решить и используя алгоритм Форда-Фалкерсона.



Ответ тоже получится $16 + 19 = 35$.

Ответ: 35.

Задача II.1.1.5. Уличный транспорт (14 баллов)

Темы: кодирование.

Условие

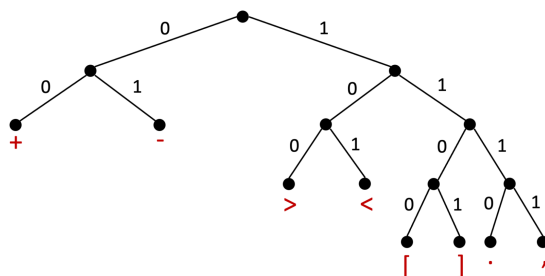
Даня и Ваня на уроке информатики получили очень странное задание. В нем им необходимо определить, какое минимальное количество информации будет содержать сообщение о способе перемещения случайного прохожего. Для этого они

простояли целые сутки на улице и поняли, что прохожие в основном передвигаются одним из пяти следующих вариантов: пешком, на самокате, велосипеде, скейтборде или роликах. Так как Ваня опаздывал на свидание, он решил, что все варианты транспорта равновероятны и убежал. Но Дания заметил одну особенность: пешеходы встречаются с вероятностью 50%, а прохожие на самокате, велосипеде, роликах и скейтбордах с вероятностью 12,5% каждый.

На сколько бит количество информации, содержащееся в сообщении о транспорте прохожего, которое посчитает Ваня, будет отличаться от количества информации, рассчитанного Данией?

Решение

При равномерном посимвольном кодировании Вани: мощность алфавита равна 8, так как всего 8 команд, для кодирования которых по формуле Хартли потребуется 3 бита. Всего в программе 100 символов, а значит, вся программа будет весить $3 \cdot 100 = 300$ бит при неравномерном кодировании Дани.



Тогда получается, что программа будет весить $2 \cdot 2 \cdot 32 + 3 \cdot 2 \cdot 6 + 4^4 \cdot 6 = 260$ бит, что на 40 меньше веса, полученного Ваней.

Ответ: 40.

Задача II.1.1.6. Нули и единицы (14 баллов)

Темы: системы счисления.

Условие

Существует два целых числа x и y , удовлетворяющих выражению $x = 2^i - 1$, $y = 2^j - 1$, где $x \in [1; 64]$.

Определите, сколько существует вариантов выбрать x и y при следующих условиях:

1. $x > y$.
2. Произведение данных чисел в двоичной записи содержит хотя бы одну единицу и хотя бы один ноль.

3. Произведение данных чисел в двоичной записи имеет разницу между количеством единиц и нулей не более 13.

Решение

По условию у нас есть два числа $x = 2^i - 1$, $y = 2^j - 1$, где $1 \leq i, j \leq 54$.

Зная, что любое число $z = 2^n - 1$, где $n \in \mathbb{N}$, выглядит как n единиц:

$$2^3 - 1 = 111_2$$

$$2^4 - 1 = 1111_2$$

и так далее, делаем вывод, что наши числа — это тоже набор от 1 до 64 единиц в двоичной системе счисления.

Кроме того, заметим одно интересное свойство, что если перемножать числа такого вида друг на друга, то результат всегда будет содержать ровно столько нулей, сколько было единиц в меньшем числе, и ровно столько единиц, сколько их было в большем.

Например:

$$\begin{array}{r}
 \times \qquad \qquad \qquad \begin{array}{ccccccc} & & & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline & & & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & 1 & 1 \\ & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1
 \end{array}
 \end{array}$$

или

$$\begin{array}{r}
 \times \qquad \qquad \qquad \begin{array}{cccccccc} & & & & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline & & & & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array}
 \end{array}$$

Получается, что для выполнения третьего условия нам необходимо перемножать числа с разницей не более 13 разрядов. При этом для выполнения второго условия число j не должно быть 1, ведь любое число, умноженное на 1, не будет изменяться. А первое условие, что x всегда строго больше y , позволяет избежать повторы, взяв число y за меньшее левое число пары, а x — за большее правое.

Получается, что для $j = 2$ в пару можно взять любое $i \in [3; 15]$, и такое правило будет работать для всех $j \in [2; 51]$

Выходит, что на 50 вариантов взятия j существует по 13 вариантов взятия i , а это уже $50 \cdot 13 = 650$ пар.

Для каждого $j \geq 52$ количество возможных i будет уменьшаться, так как i не может быть больше 64, а значит, для $j = 52$ будет всего 12 возможных вариантов i , для $j = 53$ будет всего 11 возможных вариантов i и так далее, что выплывает в арифметическую прогрессию: $12 + 11 + \dots + 2 + 1 = 78$ вариантов.

Всего получается $650 + 78 = 728$ пар.

Ответ: 728.

Задача II.1.1.7. Кольцевой сборщик (17 баллов)

Темы: программирование.

Условие

На некотором заводе решили расфасовать детали. Каждая деталь имеет свой размер, выраженный как целое число. Для фасовки сотрудники взяли кольцевой сборщик. Кольцевой сборщик — это некий механизм с ячейками разного размера, в которые можно положить деталь. Изначально выбрана для приема детали ячейка под номером 1, каждую секунду она сдвигается на следующую: через секунду будет выбрана для приема ячейка под номером 2, через две секунды — под номером 3 и так далее... Если сборщик дойдет до последней ячейки, он на следующем шагу окажется на ячейке под номером 1. Чтобы разместить деталь в сборщик, необходимо, чтобы размер выбранной для приема ячейки был равен размеру детали. Всего необходимо погрузить n деталей, каждая — имеет свой уникальный размер от 1 до n включительно. Сами они загружаются в сборщик по возрастанию, сначала с размером 1, потом с размером 2, и так далее до размера n включительно. Работники завода попросили у Вас помощи. Они сообщили вам, сколько у них деталей, а также порядок ячеек в кольцевом сборщике, и просят Вас написать программу, которая рассчитает, через сколько все детали будут погружены в кольцевой сборщик. Считайте, что деталь укладывается в кольцевой сборщик моментально.

Формат входных данных

В первой строке входных данных записано число n ($1 \leq n \leq 10^5$) — количество деталей.

Во второй строке записано n целых чисел s_i ($1 \leq s_i \leq n$) — последовательность размеров ячеек в кольцевом сборщике. Все размеры ячеек являются уникальными числами.

Выбранной при старте ячейкой считать первое число последовательности.

Формат выходных данных

Выведите одно число — количество времени, затраченное на расфасовку всех деталей.

Методика проверки

Программа проверяется на 20 тестах. Прохождение каждого теста оценивается в 0,5 балла. Тесты из условия задачи при проверке не используются.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
4
3 1 4 2
Стандартный вывод
6

Пояснения к примеру

Первая на вход идет деталь с размером 1, чтобы добраться до ячейки с размером 1 необходимо затратить одну су: $3 \rightarrow 1$. Следующая на вход идет деталь с размером 2, чтобы добраться до ячейки с размером 2 необходимо затратить две сы: $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2$. Следующая на вход идет деталь с размером 3, чтобы добраться до ячейки с размером 3 необходимо затратить одну су: $2 \rightarrow 3$. Последняя на вход идет деталь с размером 4, чтобы добраться до ячейки с размером 4 необходимо затратить две сы: $3 \rightarrow 1 \rightarrow 4$. Итого было затрачено на расфасовку всех деталей 6 с.

Решение

Заведем отдельный список/словарь, который в качестве индексов будет использовать размеры деталей, а в качестве значений — индексы ячеек для деталей на ленте. Так как детали укладываются последовательно, пройдем циклом по деталям размерами от 1 до N включительно. На момент начала укладки мы расположены над ячейкой под номером 1. Для вычисления времени до нужной нам ячейки, зная, что лента меняет ячейку каждую секунду, воспользуемся следующей формулой «точка расположения ячейки для нужной детали — наше нынешнее положение». Тем самым мы вычислим расстояние до ячейки, что и будет эквивалентно в рамках нашей задаче времени до ячейки.

Если точка расположения нашей ячейки находится позади нашей позиции, проверен полный круг по ленте, вернувшись в стартовое положение, и добавим расстояние до нужной ячейки: « N — наше нынешнее положение + точка расположения ячейки для нужной детали». После каждого перемещения по ленте обновляем нынешнюю позицию на точку, до которой мы дошли на этом шагу: «наше нынешнее положение = точка расположения ячейки для нужной детали». Суммируем все рассчитанные расстояния и получаем полное время, за которое мы обойдем всю ленту и уложим все детали.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1  n = int(input())
2  indexes = dict()
3  arr = list(map(int, input().split()))
4  for i in range(n):
5      indexes[arr[i]] = i
6      current_index = result = 0
7  for i in range(n):
8      if current_index < indexes[i + 1]:
9          result += indexes[i + 1] - current_index
10     else:
11         result += n + indexes[i + 1] - current_index
12         current_index = indexes[i + 1]
13  print(result)

```

Задача II.1.1.8. Кредиты в банке (17 баллов)

Темы: программирование.

Условие

В некотором банке регулярно проходит огромное количество транзакций в сутки. Все эти транзакции (без указания личных данных клиентов) отображаются в логах банка. Это сделано для того, чтобы можно было анализировать количество денег, которые клиенты внесли в банк. Как вы знаете, банки обладают возможностью выдавать кредиты своим клиентам, но они их выдают из денег, которые вложили другие клиенты. И, естественно, чтобы выдать кредит, банк должен иметь в наличии ту сумму, на которую он это хочет сделать. Нормальной системы контроля денег у банка, о котором у нас в задаче идет речь, нет, поэтому они это делают через логи. Они узнают по ним гарантированное количество уникальных денежных единиц, которое было зафиксировано, и тем самым определяют гарантированную сумму, которую могут выдать в кредит.

Вам был дан некий отрезок из логов этого банка. Каждый клиент закодирован уникальным номером. Определите, какое гарантированное количество уникальных денежных единиц есть у банка на кредит. Для подробного понимания, как высчитывается гарантированная величина уникальных денежных единиц, смотрите пояснение к примеру.

Формат входных данных

На вход программе в первой строке поступает целое число n $1 \leq n \leq 10^5$ — количество операций в логах. В следующих n строках записано по три целых числа $from$ ($1 \leq from \leq 500$), to ($1 \leq to \leq 500$), $from \neq to$, и $amount$ ($1 \leq amount \leq 10^9$) — клиенты, которые отправили и получили деньги соответственно, а также количество денежных единиц.

Формат выходных данных

Программа должна вывести одно число — гарантированное количество уникальных денежных единиц, которые были зафиксированы по логам.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод	
3	
1 2 50	
2 3 30	
3 1 40	
Стандартный вывод	
60	

Пояснение к примеру

В примере первая транзакция производится между клиентами 1 и 2 на величину 50 денежных единиц. До этого эти деньги не были в логах, а значит, это 50 уникальных денежных единиц. Далее идет транзакция между клиентами 2 и 3 на величину 30 денежных единиц. Как мы знаем из первой транзакции, у клиента под номером 2 есть 50 денежных единиц, и, соответственно, эти 30 денежных единиц могли быть пересланы из этих 50, поэтому мы не можем заявлять, что это гарантировано уникальные денежные единицы. В случае, если клиент 2 отправит 30 денежных единиц клиенту 3, то у него может остаться $50 - 30 = 20$ денежных единиц. Следующая транзакция происходит между клиентами 3 и 1 на величину 40 денежных единиц. Так как у клиента 3 нам известно только 30 денежных единиц, которые были отправлены от клиента 2, то оставшиеся $40 - 30 = 10$ будут уникальными единицами денег, так как до этого о них речь нигде в логах не шла. Итого, у нас получается $50 + 10 = 60$ гарантировано уникальных денежных единиц.

Решение

Заведем некий список/словарь, который будет хранить, сколько на данный момент у клиентов денег, которые нам известны, а также переменную, в которую будем записывать количество уникальных денег. Изначально мы не знаем ни одной транзакции, следовательно, про каждого клиента мы знаем о наличии 0 денег. Запускаем цикл, в котором обрабатываем каждую транзакцию следующим образом: от отправителя мы вычитаем сумму денег, которая указана в переводе, которую он отправил, а получателю их начисляем. Если счет отправителя становится отрицательным, следовательно, были отправлены деньги, о которых мы ранее не знали, следовательно, обновляем значение уникальных денег, добавляя модуль отрицательного баланса (той части денег, о которых мы ранее не знали). После этого запишем на баланс отправителя, что у него 0 денег, так как больше нет неизвестных денег. Обработав все транзакции таким образом, в конце выводим переменную с количеством уникальных денег.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1  n = int(input())
2  bank_accounts = dict()
3  unique_moneys = 0
4  for i in range(n):
5      from_user, to_user, amount = map(int, input().split())
6      if to_user not in bank_accounts:
7          bank_accounts[to_user] = 0
8      bank_accounts[to_user] += amount
9      if from_user not in bank_accounts:
10         bank_accounts[from_user] = 0
11     bank_accounts[from_user] -= amount
12     if bank_accounts[from_user] < 0:
13         unique_moneys += abs(bank_accounts[from_user])
14         bank_accounts[from_user] = 0
15 print(unique_moneys)

```

Вторая волна. Задачи 8–11 класса

Задача II.1.2.1. Жилой дом (7 баллов)

Темы: базы данных.

Условие

Дан фрагмент таблицы базы данных некоторого жилого дома.

Таблица II.1.3: `livers`

id	first_name	last_name	birth	sex	flight_num
1	Ivan	Ivanov	25.05.1999	male	101
3	Ekaterina	Kuznetsova	04.02.1996	female	103
4	Aleksandr	Popov	06.04.1994	male	102
5	Elena	Vasilieva	03.11.1994	female	103
6	Sergei	Petrov	25.06.1984	male	102
7	Daniil	Sokolov	07.12.2000	male	102
8	Anastasia	Mikhailova	15.12.2002	female	103
9	Mikhail	Novikov	05.02.1993	male	103
10	Elizaveta	Fedorova	18.05.2004	female	104
11	Evgeniy	Morozov	26.09.2001	male	105
12	Semen	Volkov	16.08.1988	male	106
13	Vladislav	Alekseev	18.07.1981	male	104
14	Maksim	Lebedev	20.03.1988	male	106
15	Aleksandra	Semenova	27.06.1998	female	105
16	Kristina	Egorova	03.06.1999	female	107
17	Arina	Pavlova	21.05.1983	female	107
18	Dmitriy	Kozlov	07.05.1982	male	107
19	Danil	Stepanov	02.08.1986	male	108
20	Anna	Nikolaeva	20.04.1981	female	109
21	Rostislav	Orlov	27.03.1987	male	109

Таблица `livers` является информацией о пассажирах, которые проживают в доме.

В колонках:

- `id` — номер записи в таблице;
- `first_name` — имя проживающего;
- `second_name` — фамилия проживающего;
- `birth` — дата рождения;
- `sex` — пол проживающего: `male` — мужчина, `female` — женщина;
- `flat_num` — в какой квартире проживает человек.

Исходя из информации данной таблицы, определите, сколько есть потенциальных пар/семей в доме. Потенциальной парой/семьей будем называть таких проживающих, которые живут в одной квартире, имеют разный пол, а также разница их возрастов не превышает пять лет. В каждой квартире может проживать только одна пара, но не обязательно только два человека.

Решение

Учитывая, что в каждой квартире может проживать только одна пара, но не обязательно только два человека, надо проверить каждую квартиру на наличие хотя бы одной такой пары, удовлетворяющей условию задачи:

- 101: жители 1 и 2 разных полов с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;
- 102: жители 4, 6 и 7 одинаковых полов — не подходит;
- 103: жители 3, 5, 8 и 9, при этом у жителей 5 и 9 разный пол с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;
- 104: жители 10 и 13 разных полов с разницей в возрасте более пяти лет — не подходит;
- 105: жители 11 и 15 разных полов с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;
- 106: жители 12 и 14 одинаковых полов — не подходит;
- 107: жители 16, 17 и 18, при этом у жителей 17 и 18 разный пол с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;
- 108: житель 19 — не подходит;
- 109: жители 20 и 21 разных полов с разницей в возрасте более пяти лет — не подходит.

Итого получается четыре пары.

Ответ: 4.

Задача II.1.2.2. Десятки (9 баллов)

Темы: системы счисления.

Условие

Назовите максимальную систему счисления, где для чисел 10^i ($1 \leq i \leq 9$) при переводе в выбранную систему счисления их длина равна i .

Решение

Чтобы выполнялось условие, описанное в задаче, необходимо подставить под i максимальное значение (в рамках задачи это 9), и выбирать систему счисления до того момента, пока длина числа 10^i в некоторой системе счисления равна i . После того, как условие не будет выполняться, число никак не увеличится в размере, а, следовательно, не будет больше систем счисления, удовлетворяющих условию.

Так как длина числа 10^9 в десятичной системе счисления больше 9, начнем с 11-ричной системы счисления:

11-ричная система счисления — $10^9 = 47352388a$ (длина 9).

12-ричная система счисления — $10^9 = 23aa93854$ (длина 9).

13-ричная система счисления — $10^9 = 12c23a19c$ (длина 9).

14-ричная система счисления — $10^9 = 96b4b6b6$ (длина 8) — условие не выполнено.

Максимальная система счисления 13-ричная.

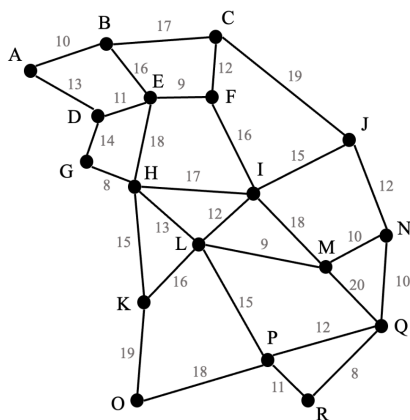
Ответ: 13.

Задача II.1.2.3. Дорожные работы (11 баллов)

Темы: теория графов.

Условие

Министерству транспорта некоторого города поступил запрос с обновлением асфальтоукладочного покрытия между важными элементами инфраструктуры. Однако совсем скоро зима, поэтому автомагистрали и дороги нужны проложить как можно скорее. Все возможные варианты прокладки дорог с требуемым для этого временем указаны на рисунке.



Решение

Из условия известно, что консерж проходит номера последовательно их кратности (сначала номера с кратностью 1, затем с кратностью 2 и т. д.).

Сделаем вывод: сколько раз номер в отеле кратен некоторым числам, столько раз его и посетят. Все числа, на которые номер комнаты кратен — это делители нашего номера, следовательно, сколько делителей у номера комнаты — столько раз ее и посетят.

Определим, в каком порядке происходят действия с дверьми:

- каждую нечетную операцию дверь меняет свое состояние с открытой на закрытую;
- каждую четную операцию дверь меняет свое состояние с закрытой на открытую (дверь будет закрыта, так как до этого была нечетная операция).

Следовательно, номер с последней закрытой дверью — это самое большое число номера, над которым проведено нечетное количество операций, или, исходя из ранее выведенного условия, нечетное количество делителей.

Нечетное количество различных делителей имеют только числа, которые являются квадратами (например, $4 = 2^2$, $81 = 9^2$). Следовательно, найдем самый большой квадрат, который меньше 9999. Ближайший полный квадрат к 9999, это $10000 = 100^2$. 10000 является большим результатом, поэтому возьмем меньший на единицу (минимальный шаг) квадрат: $(100 - 1)^2 = 99^2 = 9801$. $9801 < 9999$, а также является наибольшим квадратом, так как следующий квадрат уже превышает номер последней комнаты.

Ответ: 9801.

Задача II.1.2.5. Футбольный турнир (14 баллов)

Темы: кодирование.

Условие

В этом году проходит ежегодный футбольный турнир среди Assembler-программистов. Ежегодно это соревнование объединяет миллионы людей со всего мира, каждый с нетерпением ждет его проведения. Сейчас на соревнование было зарегистрировано 512 команд. Все соревнование проходит в три этапа: отборочный этап, групповой этап и финальный этап. Во время отборочного этапа проходит четыре стадии турнира: $\frac{1}{256}$, $\frac{1}{128}$, $\frac{1}{64}$ и $\frac{1}{32}$. Все матчи проходят по 90 мин основного времени, и, в случае ничейного результата, добавляется дополнительное время 30 мин. Если после 120 мин матча не удастся выявить победителя, проходит серия пенальти.

После отборочного этапа остается 32 команды, и они попадают в групповой этап. Все эти команды случайным образом распределяются по восьми группам, и в процессе этапа они сыграют каждый с каждым по два раза, то есть любая команда на этой стадии сыграет 6 матчей. Во время группового этапа матчи проходят только по 90 мин, независимо от результата.

По итогам группового этапа в финальную стадию проходит 16 лучших команд, и они начинают играть за кубок футбольного ассемблера. Всего проходит 4 стадии: $\frac{1}{8}$,

$\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ и финал, матча за третье место нет. Во время финальной стадии сохраняются те же правила проведения матчей, что и в отборочном этапе: 90 + 30 + серия пенальти.

Данный турнир проводится не первый год, и организаторы прекрасно знают из своей статистики, что в дополнительное время в отборочном этапе заканчивается не более 10% матчей, а также не более 20% матчей в финальном этапе.

Организаторы хотят, чтобы весь турнир прошел на высшем уровне и без нареканий, но у них возник вопрос: сколько памяти надо выделить, чтобы гарантировано сохранить все результаты матча. Организаторы хотят хранить отчеты по матчам поминно, выделяя на каждую мину по 2 байта. Серию пенальти они решили не хранить, а записывать гол на счет победителя на 120 минут. Каждый этап соревнования хранится отдельно, независимо от других, в килобайтах. Исходя из статистических данных процентов матчей, заканчивающихся в основное или дополнительное время, а также формата турнира, рассчитайте, какое минимальное целое количество памяти нужно выделить в килобайтах, чтобы гарантировано удалось сохранить все результаты турнира поминно.

Считать, что 1 Кбайт равен 1024 байтам.

Решение

Для сохранения матча длительностью 90 мин потребуется 180 байт, для 120-минутного матча — 240 байт.

Отборочный этап

В $\frac{1}{256}$ стадии пройдет $\frac{512}{2}$ (количество команд, участвующих в матче) = 256 матчей, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 256 команд.

В $\frac{1}{128}$ стадии пройдет $\frac{256}{2}$ (количество команд, участвующих в матче) = 128 матчей, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 128 команд.

В $\frac{1}{64}$ стадии пройдет $\frac{128}{2}$ (количество команд, участвующих в матче) = 64 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 64 команды.

В $\frac{1}{32}$ стадии пройдет $\frac{64}{2}$ (количество команд, участвующих в матче) = 32 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 32 команды.

Всего за отборочную стадию пройдет $256 + 128 + 64 + 32 = 480$ матчей, не более 10% из которых могут закончиться в дополнительное время с серией пенальти: $480 \cdot 0,1 = 48$ матчей; в основное время закончится: $480 - 48 = 432$ матча.

Следовательно, для хранения данных о матчах в отборочном этапе потребуется: $432 \cdot 180 + 48 \cdot 240 = 89280$ байт.

Групповой этап

Всего будет 32 команды, поделенных равномерно на 8 групп, следовательно, в каждой группе по 4 команды. Каждая команда сыграет друг против друга по два раза, следовательно, всего будет 6 туров между командами, а в каждом туре будет по 2 матча. Посчитаем, сколько матчей будет проведено всего: $6 \cdot 2 \cdot 8 = 96$ матчей. Все матчи пройдут только в основное время: $96 \cdot 180 = 17280$ байт.

Финальный этап

В $\frac{1}{8}$ стадии пройдет $\frac{16}{2}$ (количество команд, участвующих в матче) = 8 матчей, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 8 команд.

В $\frac{1}{4}$ стадии пройдет $\frac{8}{2}$ (количество команд, участвующих в матче) = 4 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 4 команды.

В $\frac{1}{2}$ стадии пройдет $\frac{4}{2}$ (количество команд, участвующих в матче) = 2 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 2 команды.

В финале пройдет всего 1 матч.

Всего за финальную стадию пройдет $8 + 4 + 2 + 1 = 15$ матчей, не более 25% из которых могут закончиться в дополнительное время с серией пенальти: $15 \cdot 0,25 = 3,75$ матча. Так как в условии задачи указано **не более**, то округляем в меньшую сторону: 3 матча; в основное время закончится: $15 - 3 = 12$ матчей.

Следовательно, для хранения данных о матчах в отборочном этапе потребуется: $12 \cdot 180 + 3 \cdot 240 = 2880$ байт.

Переведем все значения из байт в КБайт:

- для хранения отборочного этапа потребуется $89280/1024 = 87,1875 = 88$ Кбайт;
- для хранения группового этапа потребуется $17280/1024 = 16,875 = 17$ Кбайт;
- для хранения финального этапа потребуется $2880/1024 = 2,8125 = 3$ Кбайт.

Всего для хранения таблицы потребуется: $88 + 17 + 3 = 108$ Кбайт.

Ответ: 108.

Задача II.1.2.6. Фиктивные переменные (14 баллов)

Темы: алгебра логики.

Условие

Дана логическая функция, состоящая из семи переменных:

$$(((a \wedge b) \vee (\neg a \wedge (\neg a \vee e) \wedge b)) \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge d) \vee (e \wedge \neg c)), \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Фиктивными переменными называются те переменные, которые не влияют на результат функции. Выясните, какие переменные являются фиктивными. В ответе укажите их в любом порядке слитно, без пробелов, запятых и иных знаков. Гарантируется, что есть минимум две фиктивные переменные, а также существует хотя бы одна переменная, от которой зависит результат функции.

Решение

Преобразуем выражение:

$$\neg a \wedge (\neg a \vee e) = \neg a.$$

Рассмотрим левую часть, заметим, что:

$$(((a \wedge b) \vee (\neg a \wedge b)) \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge d) \vee (e \wedge \neg c)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Теперь обратим внимание на $(a \wedge b) \vee (\neg a \wedge b)$, потому что по свойству склеивания это будет просто b :

$$((b \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge d) \vee (e \wedge \neg c)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g)).$$

Во второй скобке можно заметить общий множитель $\neg c$, который можно вынести за скобки (свойство дистрибутивности):

$$((b \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge (d \vee e)))) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Далее общий множитель $(d \vee e)$, который тоже можно вынести за скобки (свойство дистрибутивности):

$$((b \rightarrow (d \vee e) \wedge (c \vee \neg c)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g)).$$

Здесь $c \vee \neg c = 1$, а значит функция принимает вид:

$$((b \rightarrow (d \vee e)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g)).$$

Уберем лишние скобки:

$$(b \rightarrow (d \vee e)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Теперь преобразуем правую часть, по закону поглощения:

$$\neg f \vee (g \wedge f) = \neg f \vee g,$$

после этого логическое выражение имеет следующий вид:

$$(b \rightarrow (d \vee e)) \wedge (\neg f \vee g \vee \neg g).$$

Так как $g \vee \neg g = 1$, то и вся скобка тоже превращается в 1, следовательно, функция принимает вид:

$$\neg b \vee d \vee e.$$

Значит, фиктивными переменными являются a , c , f , g .

Ответ: $acfg$.

Задача II.1.2.7. Прогнозирование (17 баллов)

Темы: программирование.

Условие

Сегодня проходит финал по перетягиванию каната. В нем принимают участие две команды: синих и красных. Обе команды проделали большой путь до этого финала ради призового фонда с конфетами. Но на днях команда красных предложила главному тренеру команды синих конфет за то, чтобы они проиграли. И те и другие будут в плюсе, ведь тогда команда красных заберет призовой фонд, а команда синих получит гарантированные конфеты за проигрыш.

После того как он получил конфеты, руководители команды красных попросили узнать, сколько матчей они смогут гарантированно проиграть. Они дали ему один день на обдумывание, чем он и занялся. Тренер помнит, что финал проходит по следующим правилам: от команды представляются n человек, и в рамках финала

проходит также n матчей. В первом матче канат тянут по одному человеку с каждой стороны, во втором матче канат тянут по два человека с каждой стороны, на третий три, и так далее до того, пока канат не будут тянуть с каждой стороны по n человек. Побеждает в матчах та команда, у которой больше суммарная сила на сторону. Если силы равны, объявляется ничья. Тренер знает силы и своей команд, и команды соперника, и вправе на каждый матч сам решать, кто участвует за команду синих. Также он знает, что команда красных будет ставить максимально оптимально своих участников на матч.

Исходя из этого, он просит вас написать программу, которая посчитает, какое максимальное количество матчей он может проиграть, если будет сам решать кто в каком матче участвует.

Формат входных данных

В первой строке входных данных записано целое число n ($1 \leq n \leq 2 \cdot 10^5$) — количество участников в каждой команде и одновременно количество матчей в финале. Во второй строке записано n целых чисел a_i ($1 \leq a_i \leq 10^9$) — силы участников команды синих. В третьей строке записано n целых чисел b_i ($1 \leq b_i \leq 10^9$) — силы участников команды красных.

Формат выходных данных

Выведите одно целое число — максимальное количество матчей, которое команда синих может проиграть.

Методика проверки

Программа проверяется на 20 тестах. Прохождение каждого теста оценивается в 0,5 балла. Тесты из условия задачи при проверке не используются.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
5
2 3 1 4 3
1 2 1 2 2
Стандартный вывод
2

Пояснения к примеру

Команда синих может проиграть первых два матча. В первом матче они поставят участника с силой 1 против участника команды красных с силой 2.

Во втором матче они поставят участников с силой 1 и 2 против участников команды красных с силами 2 и 2.

В третьем матче можно сделать ничью, но проиграть не получится. В четвертом и пятом матче команда синих может только выиграть.

Решение

Отсортируем силы участников обеих команд. Также создадим две переменные, в которых будут храниться суммарные силы участников команд на определенный раунд. Эти суммы на каждый раунд будут наполняться следующим образом: в команду синих мы будем добавлять самого слабого свободного участника из команды, в то время как в команду красных мы будем добавлять самого сильного свободного участника из команды. Тем самым мы постоянно будем задавать команде синих наиболее слабый состав на каждый раунд, а команде красных, наоборот, наиболее сильный. Посчитаем, в скольких случаях команда синих была слабее команды красных, и выведем данный результат.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1  n = int(input())
2  blue_team = sorted(list(map(int, input().split())))
3  red_team = sorted(list(map(int, input().split())))
4  blue_sum = 0
5  red_sum = 0
6  res = 0
7  for i in range(n):
8      blue_sum += blue_team[i]
9      red_sum += red_team[-i - 1]
10     if blue_sum < red_sum:
11         res += 1
12 print(res)
13

```

Задача II.1.2.8. Магические ключи (17 баллов)

Темы: программирование.

Условие

Даня попал в магический коридор, в котором он видит n дверей с разными замочными скважинами. Незвестный голос говорит ему повернуть голову влево, что он без каких-либо сомнений делает. Перед ним открылась следующая картина: стол, а на нем — неограниченное количество m видов ключей, а также карта, на которой расписано, какая дверь каким ключом открывается.

Все бы ничего, но Даня снова услышал неизвестный голос, который произнес следующие слова: «Эти ключи не простые, а магические. Как только ты используешь ключ, у тебя есть k у. е. времени, чтобы воспользоваться им повторно, иначе он разрушится. Но если ты повторно воспользуешься ключом, он обновится, и у тебя снова будет k у. е. времени, чтобы им воспользоваться повторно. Каждая дверь

открывается ключом за 1 у. е. времени. Если ты хочешь выбраться из этого коридора, воспользуйся картой и собери все ключи, которые тебе нужны, иначе ты здесь останешься на века».

В этой ситуации каждый будет брать все и как можно больше, но не Даня. Он решил быть рациональным и не забивать все карманы ненужными ключами. Он отправил вам по «аске» карту и информацию про все магические свойства ключей, и просит написать программу, которая рассчитает минимальное количество ключей каждого вида, которые должен взять Даня, а также их суммарное количество.

Формат входных данных

В первой строке входных данных записано три целых числа n ($1 \leq n \leq 10^6$), m ($1 \leq m \leq 1000$) и k ($1 \leq k \leq 2000$) — количество дверей, ключей и время действия ключа после первого использования соответственно.

Во второй строке записано n целых чисел a_i ($1 \leq a_i \leq m$) — номер ключа, которым можно открыть дверь под номером i . Гарантируется, что на каждый вид ключа будет не более 1000 дверей, которые им открываются.

Формат выходных данных

Выведите в первой строке одно число — общее количество ключей, которое необходимо с собой взять. Во второй строке выведите n чисел — сколько ключей надо взять на каждый вид по отдельности. Вывод количества ключей идет по порядку: сначала количество ключей с номером 1, затем — с номером 2, и так далее.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
5 2 2
2 1 2 2 1
Стандартный вывод
3
2 1

Пояснение к примеру

Для открытия первой двери нужен новый ключ с номером 2. Для открытия второй нужен новый ключ с номером 1. Для открытия третьей двери мы можем воспользоваться ранее взятым ключом 2, так как его время действия еще не закончилось еще. Для открытия четвертой двери воспользуемся ранее взятым ключом 2, так как мы его на предыдущей двери обновили, и теперь отсчет его времени действия начался снова. Для открытия пятой двери нужен новый ключ с номером 1, так как предыдущий ключ потерял свое действие. Итого нам нужно два ключа с номером 1 и один ключ с номером 2.

Решение

Создадим отдельный список/словарь, в который будем записывать в качестве индексов/ключей номера ключей от дверей, а в качестве значений под индексами/ключами будет храниться список индексов дверей, которые открываются этими ключами. После этого запускаем цикл, доставая индексы дверей по определенному ключу и вычисляем, сколько нужно ключей определенного типа, чтобы открыть все двери, которые подходят под него. Для того чтобы понимать, нужен новый ключ или нет, воспользуемся следующим условием: если разница между позицией двери и предыдущей двери, открываемой данным ключом, больше времени активности ключа, то требуется новый ключ, в ином случае нет. Если у нас есть хотя бы одна дверь, которая открывается определенным типом ключа, нужно взять минимум один ключ, в ином случае ключи не нужны. Суммируем количество раз, сколько раз, исходя из условия, потребовалось взять еще ключей для дверей, а также добавляем один (чтобы взять первый ключ для дверей). Сохраняем для двери в списке данный результат. В итоге пройдемся по всем ключам и дверям для них и выведем сумму всех ключей, а также по отдельности необходимое количество ключей.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1  n, m, active_time = map(int, input().split())
2  keys = list(map(int, input().split()))
3  arr = [[] for i in range(m)]
4  for i in range(n):
5      arr[keys[i] - 1].append(i)
6  res = 0
7  count_keys = []
8  for doors_by_someone_key in arr:
9      count_keys.append(0)
10     if len(doors_by_someone_key) == 0:
11         continue
12     prev_door = doors_by_someone_key[0]
13     res += 1
14     count_keys[-1] += 1
15     for door in doors_by_someone_key:
16         if door - prev_door > active_time:
17             res += 1
18             count_keys[-1] += 1
19     prev_door = door
20  print(res, count_keys, sep='\n')
```

Третья волна. Задачи 8–11 класса

Задача II.1.3.1. Аренда авто (7 баллов)

Темы: базы данных.

Условие

Даны фрагменты двух таблиц базы данных некоторой каршеринговой компании.

Таблица II.1.4: Операции

id	Имя	Фамилия	Пол	Дата аренды	id авто	Сумма аренды	Штраф
1	Данил	Смирнов	м	03.08.2023	104	242	Есть
2	Екатерина	Кузнецова	ж	04.08.2023	106	314	Нет
3	Сергей	Попов	м	06.08.2023	105	147	Есть
4	Анастасия	Васильева	ж	08.08.2023	103	150	Нет
5	Елизавета	Штольц	м	10.08.2023	103	219	Есть
7	Дмитрий	Солоков	м	10.08.2023	10	300	Нет
8	Елена	Новикова	ж	12.08.2023	103	258	Есть
9	Михаил	Федоров	м	17.08.2023	10	294	Есть
10	Филипп	Морозов	м	18.08.2023	102	190	Нет
11	Евгений	Волков	м	20.08.2023	101	178	Нет
12	Владислав	Алексеев	м	25.08.2023	103	218	Нет
13	Максим	Лебедев	м	25.08.2023	102	176	Нет
14	Александра	Семенова	ж	28.08.2023	104	315	Есть
15	Арина	Егорова	ж	01.09.2023	102	233	Есть
16	Кристина	Павлова	ж	03.09.2023	101	166	Есть
17	Даниил	Казаченко	м	03.09.2023	102	252	Нет
18	Иван	Козлов	м	04.09.2023	101	323	Есть
19	Агата	Орлова	ж	06.09.2023	106	181	Нет
20	Владимир	Николаев	м	06.09.2023	101	271	Нет
21	Ростислав	Никифоров	м	07.09.2023	106	199	Есть

Таблица II.1.5: Автомобили

id	id авто	Марка	Модель	Номер	Год выпуска	Тип двигателя
1	101	Renault	Kaptur	K123ДЖ 50	2019	бензиновый
2	102	Renault	Logan	K015ТИ 50	2019	бензиновый
3	103	Skoda	Octavia	K329ЮТ 50	2019	дизельный
4	104	Skoda	Octavia	K841ГМ 50	2018	бензиновый
5	105	Audi	A3	K418ДВ 50	2013	дизельный
6	106	Renault	Kaptur	K641ЛТ 50	2017	бензиновый

Таблица **Операции** является информацией о арендаторах, которые воспользовались услугами каршеринговой компании.

В колонках:

- id — номер записи в таблице;
- имя — имя клиента;
- фамилия — фамилия клиента;
- пол — пол клиента;
- дата аренды — дата, когда клиент арендовал автомобиль;
- id авто — номер автомобиля, который арендовал клиент;
- сумма аренды — итоговая сумма аренды автомобиля клиентом;
- штраф — имеет ли клиент штраф за поездку.

Таблица **Автомобили** является информацией об автомобилях компании.

В колонках:

- id — номер записи в таблице;
- id авто — номер автомобиля, который арендовал клиент;
- марка — марка автомобиля;
- модель — модель автомобиля;
- номер — серийный номер автомобиля;
- год выпуска — год, когда был выпущен автомобиль;
- тип двигателя — тип двигателя автомобиля (бензиновый или дизельный).

Исходя из информации данных таблиц, определите, на сколько больше денег заработала компания на мужчинах, которые арендовали бензиновые автомобили, по сравнению с женщинами, арендовавшими дизельные?

Решение

Автомобили с бензиновыми двигателями имеют id 101, 102, 104, 106.

Автомобили с дизельными двигателями имеют id 103, 105.

Найдем всех мужчин, которые арендовали автомобили с id 101, 102, 104, 106:

id	Имя	Фамилия	Пол	Дата аренды	id авто	Сумма аренды	Штраф
1	Данил	Смирнов	м	03.08.2023	104	242	Есть
7	Дмитрий	Солоков	м	10.08.2023	101	300	Нет
10	Филипп	Морозов	м	18.08.2023	102	190	Нет
11	Евгений	Волков	м	20.08.2023	101	178	Нет
13	Максим	Лебедев	м	25.08.2023	102	176	Нет
17	Даниил	Казаченко	м	03.09.2023	102	252	Нет
18	Иван	Козлов	м	04.09.2023	101	323	Есть
20	Владимир	Николаев	м	06.09.2023	101	271	Нет
21	Ростислав	Никифоров	м	07.09.2023	106	199	Есть

Суммарно получается 2131 руб. Теперь найдем сколько компания заработала на девушках, арендовавших машины с id 103 и 105.

id	Имя	Фамилия	Пол	Дата аренды	id авто	Сумма аренды	Штраф
4	Анастасия	Васильева	ж	08.08.2023	103	150	Нет
8	Елена	Новикова	ж	12.08.2023	103	258	Есть

Итого выходит 408 руб. А значит компания заработал на мужчинах на $2131 - 408 = 1723$ руб. больше.

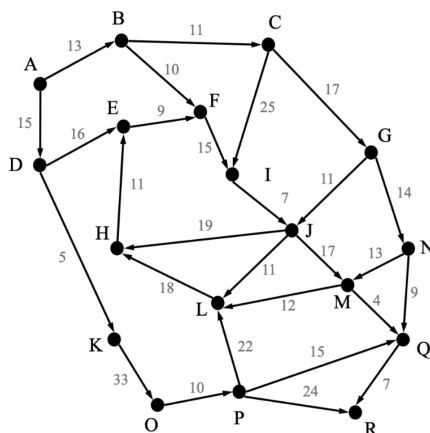
Ответ: 1723.

Задача II.1.3.2. Гонщик (9 баллов)

Темы: теория графов.

Условие

Даня и Ваня играют в одну известную видеоигру «Нужна скорость». Они прошли ее практически всю, за исключением последней сложной миссии. Им нужно как можно дольше скрываться от преследования на время. После многих безуспешных попыток они решили нарисовать карту гоночной локации, которая приведена на рисунке.

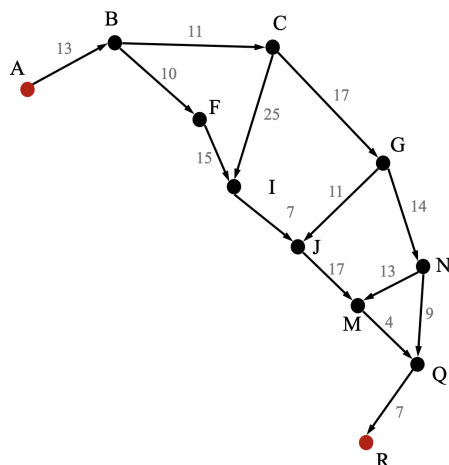


Стартом заезда считается пункт A , а финишем пункт Q . Они замерили максимальное время, которое им удастся продержаться на каждом дорожном участке. После замеров Даня и Ваня просят у вас помощи. Найдите максимально возможное время заезда при условии, что через каждый пункт можно проезжать только один раз и двигаться разрешено только в том направлении, куда указана стрелка.

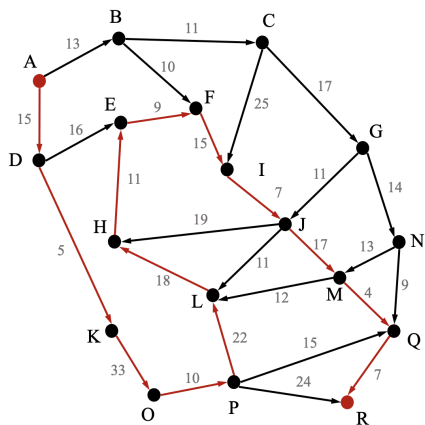
Решение

Заметим, что в графе присутствуют циклы, поэтому попытаемся их разобрать. Очевидно, что после старта есть два основных направления: либо в пункт D (направо), либо в пункт H (вниз).

Если мы идем в пункт B , то мы никогда не сможем попасть в пункт L и H , потому что они вынудят нас пройти через один пункт несколько раз, поэтому картина возможных путей там выглядит очень просто.



Однако если мы идем в пункт D, то мы можем захватить пункт L и H при этом также захватывая и другие пункты из правой части графа.



Применяя обратный алгоритм Дейкстры, сравниваем оба варианта и получаем, что самый долгий путь был на второй картинке, и он составляет 173.

Ответ: 173.

Задача II.1.3.3. Киновечер (11 баллов)

Темы: кодирование.

Условие

Недавно Даня и Ваня ходили в кино на показ новой короткометражки «Опенгеймер».

Они, конечно, были впечатлены актерской игрой и сюжетом, но больше всего им стало интересно, какое же максимальное количество цветов используется в картине. Они решили воспользоваться приложением для скачивания фильмов «Толлент». Из него они узнали, что суммарно произведение весит около 17 Гб при разрешении 1280×720 и частоте кадров 25 к/с, при этом сама картина длится приблизительно 20 мин, а звук кодировался отдельно и весит 1 Гб памяти.

Из этих данных определите, какое максимальное количество цветов могло использоваться в кадре.

Учтите, что в данной задаче:

- 1 Гб = 1024 Мб;
- 1 Мб = 1024 Кб;
- 1 Кб = 1024 Бита.

Решение

Первым делом определим общий объем памяти, в который необходимо уложиться для кодирования визуальной составляющей фильма. Если звук занимает 1 Гб, а весь фильм целиком — 17 Гб, то на кодирование картинки остается 16 Гб.

Вес одного любого кадра фильма будет составлять $1280 \cdot 720 \cdot i$, где i — глубина цвета. Видео — это набор картинок, которые показываются с частотой 25 кадров в секунду (по условию) на протяжении 20 мин (также по условию), вес всего видеофайла можно записать как $V = 1280 \cdot 720 \cdot i \cdot 25 \cdot 20 \cdot 60$.

Выражаем отсюда неизвестную i , а вместо V подставляет найденные 16 Гб, предварительно переведенные в биты:

$$i \leq \frac{16 \cdot 2^{33}}{1280} \cdot 720 \cdot 25 \cdot 20 \cdot 60,$$

$$i \leq 4,971.$$

Очевидно, что глубина цвета быть дробной не может, и округлить в большую сторону ее тоже нельзя, т.к. мы превысим наш размер видео, значит, максимальное количество бит на кодирование цвета, которые мы можем взять, равно 4.

Количество цветов можно легко найти по формуле $N = i^2$, откуда следует, что оно равно 16.

Ответ: 16.

Задача II.1.3.4. Кубическая разница (14 баллов)

Темы: системы счисления.

Условие

Существует некоторое четырехзначное число $x = abcd$ в четверичной системе счисления.

Кроме этого, есть его копия, записанная в обратном порядке, назовем ее $y = dcba$.

Сколько можно выбрать пар чисел x и y так, чтобы модуль их разности являлся кубом какого-либо целого числа?

Решение

По условию задачи имеется четверичное число x , которое можно так и представить $x = abcd$, где переменные $a, b, c, d \in [0; 3]$, так как являются цифрами четверичного алфавита.

Кроме того имеется число y — инвертированная запись числа x , которая равна $y = dcba$, где переменные $a, b, c, d \in [0; 3]$, так как являются цифрами четверичного алфавита.

Представляя числа в десятичной системе счисления, запишем уравнение, что разность чисел x и y равна кубу некоторого числа e :

$$(a \cdot 4^3 + b \cdot 4^2 + c \cdot 4^1 + d \cdot 4^0) - (d \cdot 4^3 + c \cdot 4^2 + b \cdot 4^1 + a \cdot 4^0) = e^3,$$

$$(64a + 16b + 4c + d) - (64d + 16c + 4b + a) = e^3,$$

$$64a + 16b + 4c + d - 64d - 16c - 4b - a = e^3,$$

$$63a + 12b - 12c - 63d = e^3,$$

$$63(a - d) + 12(b - c) = e^3.$$

Учитывая, что $a, b, c, d \in [0; 3]$, так как являются цифрами четверичного алфавита, как можно получить куб в разнице 63 и 12?

Такой вариант всего 1 и это: $63 - 12 \cdot 3 = 27$ Значит $a - d = 1$, $b - c = -3$.

Тогда подходит пара чисел (2031; 1302). И еще одна пара (3032; 2303).

Ответ: 2.

Задача II.1.3.5. Кубическая разница (14 баллов)

Темы: алгебра логики.

Условие

Даны две логической функции:

$$F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)) \rightarrow (x \wedge w \vee w \wedge x),$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)) \wedge (\neg w \vee (e \wedge w \vee w \wedge \neg e)).$$

Определите, в скольких из всех возможных значений пяти переменных x, y, z, w, e результаты двух функций будут отличаться друг от друга?

Решение

Упростим обе функции.

Функцию $F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)) \rightarrow (x \wedge w \vee \neg w \wedge x)(x \wedge w \vee \neg w \wedge x)$ можно упростить по свойствам дистрибутивности: $(x \wedge (w \vee \neg w))$ и $w \vee \neg w$ всегда будет истинно: $x \wedge 1 = x$.

Получим

$$F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)) \rightarrow x.$$

$(y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)$ можно расширить по свойствам дистрибутивности, приняв, что $(y \wedge \neg z) = a$, тогда получим:

$$a \wedge (y \vee \neg e) = (y \wedge a) \vee (\neg e \wedge a) = (y \wedge (y \wedge \neg z)) \vee (\neg e \wedge (y \wedge \neg z)).$$

Передвинем в левой части скобки по свойству ассоциативности:

$$((y \wedge y) \wedge \neg z) \vee (\neg e \wedge (y \wedge \neg z)).$$

Упростим $y \wedge y$ по свойству идемпотентности: $(y \wedge \neg z) \vee (\neg e \wedge (y \wedge \neg z))$.

Вернув $a = (y \wedge \neg z)$, упростим выражение по свойству поглощения:

$$a \vee (\neg e \wedge a) = a = (y \wedge \neg z),$$

$$F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z)) \rightarrow x.$$

В левой части выражения разложим выражение по свойству дистрибутивности:

$$\neg y \vee (y \wedge \neg z) = (\neg y \vee y) \wedge (\neg y \vee \neg z);$$

$(\neg y \vee y)$ всегда будет истинно:

$$1 \wedge (\neg y \vee \neg z) = \neg y \vee \neg z.$$

$$F_1 = (\neg y \vee \neg z) \rightarrow x.$$

Разложим импликацию:

$$(\neg y \vee \neg z) \rightarrow x = \neg(\neg y \vee \neg z) \vee x.$$

Применим на скобку закон Де Моргана: $y \wedge z \vee x$.

$$F_1 = y \wedge z \vee x,$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)) \wedge (\neg w \vee (e \wedge w \vee w \wedge \neg e)).$$

$(e \wedge w \vee w \wedge \neg e)$ можно упростить по свойствам дистрибутивности:

$$(w \wedge (\neg e \vee e)); \neg e \vee e \text{ всегда истина: } w \wedge 1 = w.$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)) \wedge (\neg w \vee w) \neg w \vee w \text{ всегда истина: } 1.$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)).$$

Выражения упрощены до трех переменных, следовательно, две переменные не влияют на результат.

Также если менять значения этих переменных, то ответ, зависимый от трех других, будет повторяться.

Следовательно, ответы будут повторяться в 2^2 (выборка вариантов переменной $(0, 1)$ в степени количества переменных) = 4 раза.

Составим таблицу истинности.

x	y	z	F_1	F_2
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	0

Результат функций различается только в одном случае.

Так как у нас есть переменные, не влияющие на результат, но повторяющиеся значения функций четыре раза, умножим количество повторений на количество различающихся значений функций: $1 \cdot 4 = 4$.

Ответ: 4.

Задача II.1.3.6. Трасса (14 баллов)

Темы: программирование.

Условие

В новом современном городе строят новую современную скоростную трассу длиной s м. Ее необходимо оборудовать так, чтобы она могла выдерживать большое количество машин и чтобы она не создавала больших пробок и аварийных ситуаций. Поэтому было принято решение посмотреть на другой, аналогичный город с такой же успешной трассой и запросить с камер записи о том, сколько машин там фиксируется за день.

Всего с камер было получено n машин, и по каждой была информация во сколько она заезжает на трассу и с какой скоростью ехала в м/с. После получения этой информации было решено узнать максимальную нагрузку в какую-то из секунд на трассе. От этого значения они и хотят понимать, какую нагрузку должна выдерживать трасса. Вы, как опытный программист и сотрудник ИТ-отдела города, взялись за эту задачу.

Напишите программу, которая по этим данным опередит максимальную нагрузку на трассу в какую-то из секунд.

Формат входных данных

В первой строке входных данных записано два целых числа n ($1 \leq n \leq 10^5$) и s ($1 \leq s \leq 10^6$) — количество зафиксированных машин и длина трассы. В следующих n строках по два целых числа t ($1 \leq t \leq 10^6$) и v ($1 \leq v \leq s$) — время заезда на трассу и скорость на трассе в м/с соответственно.

Гарантируется, что длина трассы кратна каждой скорости во входных данных.

Формат выходных данных

Выведите одно число — максимальное количество машин на трассе в некоторую секунду.

Методика проверки

Первая машина заедет на третьей секунде и выйдет на 5: [3, 5).

Вторая машина заедет на второй секунде и выйдет на 8: [2, 8).

Третья машина заедет на первой секунде и выйдет на 13: [1, 13).

Четвертая машина заедет на пятой секунде и выйдет на 6: [5, 6).

Итого максимальное количество машин будет замечено на четвертой секунде. Одновременно на трассе будет первая, вторая и третья машины.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
4 60
3 30
2 10
1 5
5 60
Стандартный вывод
3

Решение

Определим два события, которые у нас возможны в задаче:

- машина заехала на трассу в определенный момент времени, обозначим это как +1 машина;
- машина выехала с трассы в определенный момент времени, обозначим это как −1 машина.

Каждое событие мы можем без особых проблем сохранять в массив и после работать с ним.

Первое событие мы можем сохранить в массив как пару (время заезда, 1), где время заезда — параметр из входных данных, а 1 — это аналог +1, дающий нам сигнал, что на трассе появилась новая машина.

Второе событие мы можем сохранить в массив как пару (время выезда, -1), где время выезда — это сумма времени заезда на трассу и длины трассы, поделенной на скорость машины, а -1 — сигнал о том, что машина выехала с трассы (-1 машина).

Отсортируем массив по первому параметру пар чисел: временам заезда и выезда с трассы. Тем самым мы получим последовательность действий на трассе. Запускаем цикл по массиву и, если действие равняется заезду машины, увеличиваем количество машин на трассе, в ином случае — уменьшаем.

Так как у нас действия помечены как 1 (+1) и -1, можем в количество машин добавлять именно их. Заведем отдельно переменную, в которой будем хранить максимальное количество машин, которое было за все время на трассе. Его мы будем обновлять после каждого действия следующим способом: если количество машин на трассе в определенный момент времени больше, чем записано в переменной, то обновляем ее значение.

По окончании цикла выводим максимальное количество машин, которое было зафиксировано.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1  n, s = map(int, input().split())
2  arr = []
3  for i in range(n):
4      time_in, speed = map(int, input().split())
5      arr.append((time_in, 1))
6      arr.append((time_in + s // speed, -1))
7  arr.sort()
8  max_cars_per_sec = 0
9  cur_cars_per_sec = 0
10 for i in range(2 * n):
11     cur_cars_per_sec += arr[i][1]
12     max_cars_per_sec = max(max_cars_per_sec, cur_cars_per_sec)
13 print(max_cars_per_sec)

```

Задача II.1.3.7. Игра +1 (14 баллов)

Темы: программирование.

Условие

Игра +1 — это современная, набирающая популярность игра в просторах интернета. Она привлекает всех своей простотой и желанием добиваться высоких результатов за минимальное количество действий.

Давайте немного познакомимся с ее сутью. Нам выложено некое поле размером $1 \times n$ клеток. В каждой клетке записано некоторое число.

Если на поле есть два одинаковых числа, то их можно объединить. Операция объединения удаляет два числа, над которыми была произведена операция, а также создает новое число (на одной из освободившейся клетке), которое на единицу больше удаленных.

Например, если была объединена пара двоек, то они будут удалены, а новым числом будет 3.

Игра считается законченной, если было получено некоторое загаданное число m или на поле больше нет одинаковых чисел.

Как мы обсудили ранее, игроки хотят побеждать за минимальное количество действий. Так как единственное действие, которое существует — это объединение, то, соответственно, побеждать за минимальное количество объединений. Один из игроков решил считать и попросил вас написать ему программу, которая, исходя из поля, будет определять, сколько минимально чисел с первоначального поля надо объединить между собой, чтобы закончить игру, или выведите -1 , если невозможно собрать нужное число.

В ответе не учитывайте объединения между новыми числами, которые получаются после объединения.

Формат входных данных

В первой строке входных данных записано два целых числа n ($1 \leq n \leq 10^6$) и m ($2 \leq m \leq 100$) — количество чисел и цель, которую надо получить.

Во второй строке записано n целых чисел a_i ($1 \leq a_i < 100$, $\max(a) < m$) — числа на поле.

Формат выходных данных

Выведите одно число — минимальное количество чисел из первоначального поля, которое надо объединить для получения нужного результата.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
6 4
1 2 3 1 1 2
Стандартный вывод
3

Пояснение к примеру

Для получения результата 4 достаточно выбрать $[2, 3, 2][2, 3, 2]$:

- четверки суммируются как одинаковая пара чисел, получая новое число: $[3, 3][3, 3]$;

- восьмерки суммируются как одинаковая пара чисел, получая новое число: $[4][4]$.

Решение

Создадим список/словарь, в котором подсчитаем количество каждого числа, которые нам даны на вход.

Подсчет будем ввести следующим образом: в качестве индекса/ключа будем использовать само число, а в качестве значения — сколько раз оно встретилось.

После этого заведем переменную, в которой будем хранить число, которое мы хотим достичь на определенном шагу, а также необходимое количество этих чисел.

В начальный момент времени у нас значение этой переменной равно конечному результату, который дан во входных данных, а необходимое количество — 1 (само число).

Запускаем цикл, который будет работать до тех пор, пока не соберем все числа, либо пока число, которое мы хотим достичь, не дойдет до нуля (несуществующего числа).

На каждом шагу проверяем через список/словарь, есть ли у нас необходимое количество выбранного числа. Если их достаточно, добавляем недостающее количество чисел и указываем, что собрали все числа (указывает, что нужно 0 чисел). В ином случае отнимаем часть, которую мы можем покрыть, и оставшееся необходимое количество чисел умножаем на два (так как чтобы собрать число x , необходимо два числа $x - 1$, описано подробнее в условии), а также меняем нынешнее число, которые нам нужно собрать, уменьшая его значение на 1.

Помимо этого мы ведем на каждом шагу подсчет того, сколько чисел мы взяли, для этого заранее заведем переменную.

После окончания работы цикла проверяем: если остались числа, которые мы не смогли набрать, выводим -1 , в ином случае выводим переменную, в которой мы ввели подсчет, сколько чисел взято на каждом шагу.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```
1 n, goal = map(int, input().split())
2 arr = list(map(int, input().split()))
3 counted = [0] * 101
4 for value in arr:
5     counted[value] += 1
6 current_need = 1
7 current_goal = goal
8 res = 0
9 while current_need > 0 and current_goal > 0:
10     res += min(current_need, counted[current_goal])
11     current_need = max(0, current_need - counted[current_goal]) * 2
12     current_goal -= 1
13 if current_need > 0:
14     print(-1)
```

```
15 else:
16     print(res)
```

Предметный тур. Физика

Первая волна. Задачи 8–9 класса

Задача II.2.1.1. Конвейер (13 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Робот-доставщик по ошибке заехал на один из концов конвейерной ленты длиной L , движущуюся с постоянной скоростью v в противоположном ее движению направлению. Продолжая двигаться с постоянной относительно ленты скоростью u , робот сумел покинуть конвейер через время t . Определите u . Ответ дайте в м/с, округлив до сотых.

Решение

Скорость робота относительно земли $v_1 = L/t$ складывается (с правильным учетом знаков) из его скорости относительно поверхности ленты и скорости ленты относительно земли:

$$\frac{L}{t} = v_1 = u - v.$$

Откуда простыми алгебраическими преобразованиями получим:

$$u = v + \frac{L}{t}.$$

Погрешность 0,02 м/с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
L , м	19	23	1
v , м/с	1,6	1,9	0,05
t , с	150	250	10

Ответ: $u = v + \frac{L}{t}$.

Задача II.2.1.2. Выжигатель (17 баллов)

Темы: плотность, тепловые явления.

Условие

Температура кипения сплава на t выше его текущей температуры. Его удельная теплоемкость c , удельная теплота возгонки (испарения из твердого состояния) L , плотность ρ . Какой должна быть минимальная энергия E лазерного импульса, чтобы он был способен испарить кубик сплава со стороной a при условии полного поглощения энергии импульса веществом? Считайте, что импульс настолько кратковременный, что сплав не успевает пройти жидкую фазу и испаряется непосредственно из твердой. Ответ дайте в Дж, округлив до десятых.

Решение

Теплота, необходимая для нагрева и последующего испарения сплава массы m , находится по формуле:

$$Q = (ct + L)m.$$

По условиям вся энергия импульса поглощается веществом, то есть переходит в тепло. Следовательно, $E = Q$. Масса сплава может быть выражена через его плотность и объем испаренной порции: $m = \rho a^3$. Подставляя, получим:

$$E = (ct + L)\rho a^3.$$

Погрешность 0, 2 Дж.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
t , °C	2200	2700	10
c , Дж/(кг·°C)	400	500	10
L , кДж/кг	5500	7000	100
ρ , кг/м ³	6000	8000	100
a , мм	0, 6	1	0, 1

Ответ: $E = (ct + L)\rho a^3$. С учетом порядков: $E = (ct + L[\cdot 10^3])\rho a^3[\cdot 10^{-9}]$.

Задача II.2.1.3. Катушка (20 баллов)

Темы: закон Ома.

Условие

При изготовлении реостата на диэлектрическую бобину диаметром D был намотан в N одинаковых, плотно прилегающих к бобине витков, константовый провод в лаковой изоляции. Площадь поперечного сечения провода S , удельное сопротивление константана $\rho = 0,4 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Номинальное сопротивление резистора было вычислено и указано в паспорте устройства, исходя из этих параметров, однако от износа n последних витков проволоки перетерлось и отвалилось. Найдите максимальное значение n , при котором сопротивление реостата отличается от номинального не более, чем на ΔR .

Решение

Один виток провода имеет длину $l = \pi D$ и электрическое сопротивление:

$$r = \frac{\rho l}{S} = \frac{\pi \rho D}{S}.$$

Каждый отвалившийся виток уменьшает общее сопротивление резистора на величину r . Таким образом,

$$n = \left\lfloor \frac{\Delta R}{r} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\Delta R S}{\pi \rho D} \right\rfloor.$$

Погрешность 1.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
D , см	3	5	0,1
S , мм ²	0,1	0,2	0,02
N	100	250	10
ΔR , Ом	3	5	0,5

Ответ: $n = \left\lfloor \frac{\Delta R S}{\pi \rho D} \right\rfloor$. С учетом порядков: $n = \left\lfloor \frac{\Delta R S}{\pi \rho D} [\cdot 10^2] \right\rfloor$.

Задача II.2.1.4. Болт (20 баллов)

Темы: золотое правило механики, работа.

Условие

При болтовом соединении деталей болт немного удлиняется, работая как растянутая пружина, прижимающая детали друг к другу с некоторой описанной в технической документации силой F . Определите, какую работу A нужно совершить, чтобы растянуть болт на величину Δl и создать таким образом силу F с помощью ключа длиной L , если диаметр резьбы болта равен d , диаметр шляпки D , шаг резьбы — b ? Трение и деформацию самих соединяемых деталей считайте пренебрежимо малым. Ответ дайте в Дж, округлив до целого.

Решение

Резьба болта и гаечный ключ представляют собой простые механизмы, дающие выигрыш в силе, но не изменяющие, согласно золотому правилу механики, работу. Поэтому общая работа, которая нужна, чтобы растянуть болт, вне зависимости от способа, считается как работа переменной силы или как разность потенциальных энергий деформированного тела (болта). При этом малость деформации позволяет применить здесь закон Гука:

$$A = \frac{F \Delta l_{\text{к}}}{2} - \frac{F \Delta l_{\text{н}}}{2}.$$

Учитывая $\Delta l_n = 0$, получим окончательно:

$$A = \frac{F \Delta l}{2}.$$

Погрешность 1 Дж.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
F , кН	200	250	10
Δl , мм	0,25	0,35	0,01
L , см	40	70	5
d , мм	20	25	1
D , мм	30	40	1
b , мм	2	3	0,1

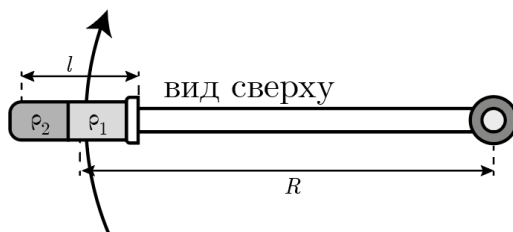
Ответ: $A = \frac{F \Delta l}{2}$.

Задача II.2.1.5. Центрифуга (25 баллов)

Темы: центростремительное ускорение, гидростатическое давление.

Условие

Для разделения жидких смесей в лаборатории используется центрифуга, представляющая собой горизонтальное колесо радиуса R , на ободе которого закрепляются пробирки с жидкостью, ориентированные дном строго от центра колеса. Найдите давление, оказываемое на дно пробирки длиной l при ее вращении в центрифуге, если пробирка совершает один оборот за время T и ровно на половину своего объема пробирка заполнена составом с плотностью ρ_1 и ровно на половину — другим составом с плотностью ρ_2 . Считайте $R \gg l$, а влияние силы тяжести пренебрежимо малым. Ответ дайте в кПа, округлив до целого. Длина окружности в 2π раз больше ее радиуса.



Решение

Линейная скорость пробирки может быть найдена по формуле $v = 2\pi R/T$, поскольку путь, проходимый пробиркой за время T , равен длине окружности с радиусом R . Соответствующее ей центростремительное ускорение a равно:

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

Это ускорение играет роль ускорения свободного падения в формуле гидростатического давления ρgh , что может быть доказано из условий равновесия элемента жидкости. Поскольку жидкости в пробирке две и каждая из них создает столб «высотой» $l/2$, для общего давления получим:

$$p = \frac{2\pi^2 R l}{T^2} (\rho_1 + \rho_2).$$

Погрешность 3 кПа.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
ν , об/с	5	7	0,5
R , см	90	120	5
l , см	6	8	1
ρ_1 , кг/м ²	800	980	20
ρ_2 , кг/м ²	1020	1200	20

Ответ: $p = \frac{2\pi^2 R l}{T^2} (\rho_1 + \rho_2)$. С учетом порядков $p = \frac{2\pi^2 R l}{T^2} (\rho_1 + \rho_2) [\cdot 10^{-7}]$.

Задача II.2.1.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Этого выдающегося ученого, обучавшегося еще в технологическом институте Николая I, но удостоенного и ленинской, и сталинской премий, нередко называют родоначальником советской физики. Такие известные физики как Капица и Курча-тов достигли своих выдающихся результатов под его руководством, а сам он был воспитан под руководством первооткрывателя «икс-лучей», используемых теперь в каждой поликлинике.

1. Петр Николаевич Лебедев.
2. Абрам Федорович Иоффе.
3. Николай Алексеевич Умов.
4. Александр Александрович Фридман.
5. Сергей Александрович Ахманов.

6. Рем Викторович Хохлов.
7. Владимир Александрович Фок.
8. Михаил Васильевич Остроградский.

Ответ: 2.

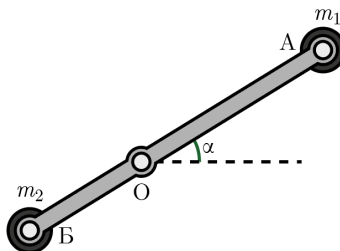
Первая волна. Задачи 10–11 класса

Задача II.2.2.1. Противовес (15 баллов)

Темы: кинематика, импульс.

Условие

Легкий рычаг АОВ, способный вращаться вокруг неподвижной точки О, где $BO = l$, $OA = 2l$ используется на производственной линии для перемещения грузов. В его точке А закреплен груз m_1 , в точке Б — противовес m_2 . В некоторый момент модуль импульса груза в точке А равен p_1 . Найдите модуль импульса противовеса в этот же момент времени. Дайте ответ в $\text{кг} \cdot \text{м/с}$, округлив до целого.



Решение

Поскольку $BO : OA = 1 : 2$, скорости двух масс всегда связаны соотношением $v_1 = 2v_2$. Тогда их импульсы связаны соотношением:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{m_2 v_2}{m_1 v_1} = \frac{m_2}{2m_1}.$$

Отсюда окончательно получим:

$$p_2 = p_1 \frac{m_2}{2m_1}.$$

Погрешность $1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , м	1	1,5	0,1
m_1 , кг	50	80	5
m_2 , кг	50	80	5
p_1 , кг · м/с	50	160	10

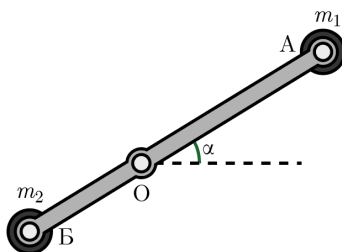
Ответ: $p_2 = p_1 \frac{m_2}{2m_1}$.

Задача II.2.2.2. Качели (20 баллов)

Темы: законы сохранения.

Условие

Легкий рычаг АОВ, способный вращаться вокруг неподвижной точки О, где $BO = l$, $OA = 2l$ используется, на производственной линии для перемещения грузов. В его точке А закреплен груз m_1 , в точке В — противовес m_2 . В некоторый момент электропривод в точке О удерживал рычаг под углом α к горизонту. В этот момент произошла авария, в результате которой привод в точке О перестал действовать, и рычаг пришел в свободное вращение вокруг этой оси. Определите скорость v_1 точки А рычага в момент, когда она оказалась строго под точкой В. Дайте ответ в м/с, округлив до десятых. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.



Решение

Поскольку $BO : OA = 1 : 2$, скорости двух масс всегда связаны соотношением $v_1 = 2v_2$. Высоты (относительно точки О), на которых находились массы в момент аварии, равны $h_{01} = 2l \sin \alpha$, $h_{02} = -l \sin \alpha$. Аналогично высоты, на которых находились массы в момент, когда точка В оказывается строго под точкой А, равны $h_1 = -2l$, $h_2 = l$.

Тогда закон сохранения энергии для масс на концах рычага имеет вид:

$$(2m_1 - m_2)gl \sin \alpha = (m_2 - 2m_1)gl + \left(m_1 + \frac{m_2}{4}\right) \frac{v_1^2}{2}.$$

Из этого уравнения можно непосредственно выразить скорость v_1 :

$$v_1 = \sqrt{\frac{8gl(2m_1 - m_2)(1 + \sin \alpha)}{4m_1 + m_2}}.$$

Погрешность 0, 2 км/ч.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , м	1	1, 5	0, 1
m_1 , кг	50	80	5
m_2 , кг	50	80	5
α , °	30	70	5

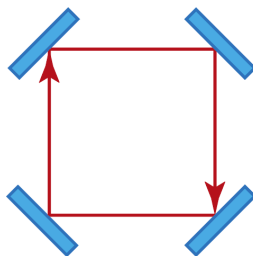
Ответ: $v_1 = \sqrt{\frac{8gl(2m_1 - m_2)(1 + \sin \alpha)}{4m_1 + m_2}}.$

Задача II.2.2.3. Резонатор (20 баллов)

Темы: оптика.

Условие

Кольцевой оптический резонатор представляет собой квадрат со стороной a , в углах которого расположены наклоненные под 45° к ходу луча зеркала. При каждом падении на зеркало $k\%$ энергии света отражается, а остальные $(100 - k)\%$ поглощаются материалом зеркала. Какая доля изначальной энергии останется у светового луча, когда он сделает N полных витков? Ответ дайте в процентах.



Решение

За один виток свет совершает 4 отражения. В ходе каждого из них его энергия изменяется в $k/(100\%)$ раз. Таким образом, общая η доля сохранившейся энергии равна:

$$\eta = \left(\frac{k}{100\%} \right)^{4N} \cdot 100\%.$$

Погрешность 1%.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
a , см	10	50	5
k	98,5	99,5	0,5
N	20	30	1

Ответ: $\eta = \left(\frac{k}{100\%} \right)^{4N} \cdot 100\%.$

Задача II.2.2.4. Спидометр (20 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Спидометр спутниковой системы навигации, показывая текущую скорость, на самом деле определяет ее как среднюю скорость за последние t движения. Определите мгновенную скорость аппарата, если его спидометр сейчас показывает скорость v_1 , t назад показывал скорость v_2 и известно, что аппарат движется равноускоренно. Ответ дайте в км/ч, округлив до десятых.

Решение

При равноускоренном движении на протяжении некоторого времени t с начальной скоростью v_0 и ускорением a конечная скорость оказывается равна $v = v_0 + at$, а средняя

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_0 + v}{2} = v_0 + \frac{at}{2}.$$

При этом, поскольку по прошествии дополнительного времени t и v , и v_0 вырастут на at , средняя скорость также вырастет на at . Следовательно, ускорение аппарата может быть найдено как

$$a = \frac{v_1 - v_2}{t},$$

а его мгновенная скорость:

$$v = v_1 + \frac{at}{2} = v_1 + \frac{v_1 - v_2}{2} = \frac{3v_1 - v_2}{2}.$$

Погрешность 0,1 км/ч.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
t , с	1, 5	3	0, 25
v_1 , км/ч	52	56	0, 5
v_2 , км/ч	47	51	0, 5

Ответ: $v = \frac{3v_1 - v_2}{2}$.

Задача II.2.2.5. Разрядка (20 баллов)

Темы: электростатика.

Условие

Испытываемая в лаборатории антенна состоит из двух одинаковых металлических шаров, разнесенных на некоторое расстояние и соединенных перемычкой из материала с очень высоким, но конечным сопротивлением. В результате шары обмениваются зарядом таким образом, что за каждый интервал времени t разница между их зарядами сокращается вдвое. В некоторый момент первый шар был заряжен, а второй — нет. Спустя t было измерено, что сила электростатического взаимодействия между шарами антенны равна F_0 . Какой станет эта сила, спустя еще t времени? Явлением электростатической индукции пренебречь. Ответ дайте в нН (наноньютоны), округлив до целого.

Решение

Пусть в начальный момент времени заряженный шар имеет заряд q . Тогда, спустя t , заряды на шарах должны отличаться на $q/2$, что, по закону сохранения заряда, возможно только если их заряды будут равны $3q/4$ и $q/4$. Соответствующая сила взаимодействия находится по закону Кулона:

$$F_0 = k \frac{(q/4)(3q/4)}{r^2} = \frac{3}{16} \cdot \frac{kq^2}{r^2}.$$

Спустя еще t разница между зарядами должна оказаться равна $q/4$, а заряды, соответственно, $5q/8$ и $3q/8$. Соответствующая сила:

$$F = k \frac{(3q/8)(5q/8)}{r^2} = \frac{15}{64} \cdot \frac{kq^2}{r^2} = \frac{5}{4} F_0.$$

Погрешность 1 нН.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
t , с	5	40	1
F , нН	10	100	2

Ответ: $F = \frac{5}{4} F_0$.

Задача II.2.2.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Этого выдающегося ученого, обучавшегося еще в технологическом институте Николая I, но удостоенного и ленинской, и сталинской премий, нередко называют родоначальником советской физики. Такие известные физики как Капица и Курчатов достигли своих выдающихся результатов под его руководством, а сам он был воспитан под руководством первооткрывателя «икс-лучей», используемых теперь в каждой поликлинике.

1. Рем Викторович Хохлов.
2. Абрам Федорович Иоффе.
3. Владимир Александрович Фок.
4. Александр Александрович Фридман.
5. Сергей Александрович Ахманов.
6. Петр Николаевич Лебедев.
7. Николай Алексеевич Умов.
8. Михаил Васильевич Остроградский.

Ответ: 2.

Вторая волна. Задачи 8–9 класса

Задача II.2.3.1. Катапульта (10 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Для запуска беспилотного летательного аппарата используется катапульта — длинная балка с установленным на ней линейным двигателем, способным создавать постоянное ускорение a . Для успешного взлета аппарат должен успеть набрать скорость v относительно воздуха до отрыва от катапульты. Вычислите минимальную необходимую длину катапульты, если взлет должен успешно осуществляться при попутном ветре со скоростью не выше u . Ответ дайте в м, округлив до десятых.

Решение

При попутном ветре скорость аппарата относительно воздуха равна $v = v_0 + u$, где v_0 — его скорость относительно катапульты. Как известно из кинематики (или законов сохранения), на расстоянии l , двигаясь с постоянным ускорением a , беспилотник может увеличить квадрат скорости на величину $v^2 = 2al_0$. Отсюда найдем изначальную длину балки:

$$l = \frac{v^2}{2a} = \frac{(v + u)^2}{2a}.$$

Погрешность 0,1 м.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
a , м/с ²	25	40	1
v , м/с	9	12	0,5
u , м/с	2	4	0,5

Ответ: $l = \frac{(v + u)^2}{2a}$.

Задача II.2.3.2. Отвердевание (15 баллов)

Темы: плотность.

Условие

Некоторый полимер был получен в жидком состоянии, в котором он целиком занимал лабораторную чашку объемом V_0 и имел плотность ρ_0 . Затем он был нагрет в специальной печи, в результате чего из состава испарились все летучие фракции общей массой Δm , а оставшееся вещество запеклось, образовав твердый сгусток с плотностью ρ . Определите объем, занимаемый твердым веществом в чашке, если известно, что пустоты в процессе запекания не образуются и никакие внешние соединения не включаются в полимер. Ответ дайте в см³, округлив до целого.

Решение

Изначальная масса полимера равна $m_0 = \rho_0 V_0$. За счет испарения она уменьшилась на Δm . Процесс отвердевания не изменяет массы вещества, поэтому объем образовавшегося твердого вещества равен $V = (m_0 - \Delta m)/\rho$. Окончательно:

$$V = \frac{\rho_0 V_0 - \Delta m}{\rho}.$$

Погрешность 5 см³.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
V_0 , см ³	1200	1500	100
ρ_0 , г/см ³	0,9	1,1	0,02
ρ , г/см ³	1,4	1,7	0,02
Δm , г	100	150	10

Ответ: $V = \frac{\rho_0 V_0 - \Delta m}{\rho}$.

Задача II.2.3.3. Три образца (20 баллов)

Темы: электростатика.

Условие

В лабораторию поступило три металлических образца одинаковых размеров А, Б и В, электрически заряженных в ходе трех разных малоисследованных процессов. Лаборанты записали результаты измерений их зарядов $q_{1,2,3}$, но позже выяснилось, что процедура проведения эксперимента была нарушена и было допущено соприкосновение образцов друг с другом. В ходе анализа записей лабораторной камеры удалось установить, что вначале соприкоснулись образцы А и Б, после чего на одном из них был измерен заряд q_1 . Затем с этим образцом дополнительно соприкоснулся образец В, после чего на нем был измерен заряд q_2 . После этого все три образца соприкоснулись одновременно и на одном из них был измерен заряд q_3 . Восстановите по этим данным исходное значение заряда образца В. Считайте, что процедура измерения величины заряда на образце не меняет. Ответ дайте в нКл (нанокулонах), округлив до целого.

Решение

Когда два металлических предмета одинаковых размеров соприкасаются, на них устанавливаются одинаковые электрические заряды. По закону сохранения заряда они должны быть равны среднему арифметическому исходных зарядов.

Тогда после первого соприкосновения

$$q_1 = \frac{q_A + q_B}{2},$$

после второго

$$q_2 = \frac{q_1 + q_B}{2},$$

а после третьего

$$q_3 = \frac{q_A + q_B + q_B}{3} = \frac{2q_1 + q_B}{3}.$$

Решая эту систему уравнений, легко получим:

$$q_B = 4q_2 - 3q_3.$$

Погрешность 1 нКл.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
q_1 , нКл	-20	20	4
q_2 , нКл	-20	20	4
q_3 , нКл	-20	20	4

Ответ: $q_B = 4q_2 - 3q_3$.

Задача II.2.3.4. Топливо (25 баллов)

Темы: тепловые явления.

Условие

На некоторой планете были обнаружены залежи жидкого состава, состоящего из двух трудно разделимых компонент. Первая из них химически инертна (не участвует ни в каких превращениях) и имеет теплоемкость c_1 . Вторая имеет теплоемкость c_2 и горит в атмосфере планеты с удельной теплотой сгорания q . Смесь воспламеняется при температуре θ , а окружающая среда планеты имеет температуру t . Определите, какую минимальную долю от общей массы смеси должна составлять масса горючей компоненты, чтобы горение смеси производило не меньше энергии, чем уходит на ее нагрев до температуры воспламенения. Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

Решение

Рассмотрим некоторую массу m смеси. Она содержит $m_2 = \alpha m$ горючей и $m_1 = (1 - \alpha)m$ негорючей жидкостей. Для воспламенения необходимо нагреть смесь на $\Delta t = \theta - t$, на что уйдет

$$Q_1 = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta t = m(c_1(1 - \alpha) + c_2 \alpha)(\theta - t)$$

теплоты. При этом от сгорания второй компоненты выделится $Q_2 = q m_2$ теплоты. Приравнявая Q_1 и Q_2 , получим:

$$\alpha q = m(c_1(1 - \alpha) + c_2 \alpha)(\theta - t),$$

откуда окончательно выразим ответ:

$$\alpha = \frac{c_1(\theta - t)}{(\theta - t)(c_1 - c_2) + q} \cdot 100\%.$$

Погрешность 0,1%.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
c_1 , Дж/(кг·°C)	300	500	20
c_2 , Дж/(кг·°C)	310	510	20
q , МДж/(кг)	13	17	0,5
θ , °C	800	950	10
t , °C	-80	-50	5

Ответ: $\alpha = \frac{c_1(\theta - t)}{(\theta - t)(c_1 - c_2) + q} \cdot 100\%.$

С учетом порядков $\alpha = \frac{c_1(\theta - t)}{(\theta - t)(c_1 - c_2) + q[10^6]} \cdot 100\%.$

Задача II.2.3.5. Геккон (25 баллов)

Темы: давление, сила трения.

Условие

Робот-геккон может перемещаться по гладким вертикальным поверхностям, используя присоски. Под каждой присоской площади S при помощи системы компрессоров, откачивающих из-под присосок воздух, создается давление p , в то время как атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа.

Какую максимальную массу может иметь такой робот, чтобы не соскальзывать с вертикальной поверхности, если он одновременно использует n одинаковых присосок (коэффициент трения резины присосок равен μ)?

Ускорение свободного падения принять равным $g = 9,8$ м/с². Ответ дайте в кг, округлив до десятых.

Решение

На каждую присоску действует прижимная сила, равная произведению ее площади на разницу внешнего и внутреннего давлений:

$$N = S(p_0 - p).$$

Возникающие в этих присосках силы трения $F_{\text{тр}} = \mu N$ должны суммарно уравновешивать вес робота:

$$mg = nF_{\text{тр}} = \mu nS(p_0 - p).$$

Таким образом, окончательно

$$m = \frac{\mu nS(p_0 - p)}{g}.$$

Погрешность 0, 2 кг.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
S , см ²	10	35	2, 5
μ	0, 12	0, 25	0, 01
p , кПа	10	40	5
n	6	12	2

Ответ: $m = \frac{\mu nS(p_0 - p)}{g}$. С учетом порядков $m = \frac{\mu nS(p_0 - p)}{g} [\cdot 10^{-1}]$.

Задача II.2.3.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Один из основателей нелинейной оптики, новой ветви науки, продемонстрировавшей, что достаточно интенсивные лучи света могут взаимодействовать друг с другом и сами с собой, фокусироваться без линзы и неожиданно менять цвет. В его честь на территории Московского университета названа улица, лаборатория, спортивный клуб и несколько учебных аудиторий. Помимо выдающихся научных достижений, он также проявил себя как талантливый организатор, способствовал развитию кооперации исследователей самых разных направлений, включая биологию и экологию, а также был профессиональным альпинистом с двадцатилетним стажем. Трагедия в одном из горных походов, к несчастью, оборвала его выдающуюся жизнь.

1. Сергей Александрович Ахманов.
2. Рем Викторович Хохлов.
3. Анатолий Алексеевич Логунов.
4. Петр Николаевич Лебедев.
5. Абрам Федорович Иоффе.
6. Александр Александрович Фридман.
7. Роберт Эмильевич Ленц.
8. Николай Алексеевич Умов.

Ответ: 2.

Вторая волна. Задачи 10–11 класса

Задача II.2.4.1. Кабель (12 баллов)

Темы: закон Ома, сопротивление.

Условие

На мобильной исследовательской станции используются стандартные резервные кабели для большинства электроприборов, имеющие площадь поперечного сечения s и длину l . В документации кабеля указано, что при подключении к стандартному лабораторному источнику постоянного тока I падение напряжения на кабеле составляет U . Определите удельное сопротивление материала кабеля. Ответ дайте в Ом $\cdot$ мм²/м, округлив до тысячных.

Решение

Сопротивления r кабеля питания вычисляются по формуле:

$$r = \frac{\rho l}{s}.$$

Согласно закону Ома для участка цепи $I = U/r$, оно также может быть выражено в виде:

$$\frac{\rho l}{s} = r = \frac{U}{I}.$$

Отсюда окончательно получим:

$$\rho = \frac{Us}{Il}.$$

Погрешность $0,002 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , м	5	8	0,5
s , мм ²	1,6	2	0,1
I , А	1	2	0,1
U , В	0,1	0,2	0,01

Ответ: $\rho = \frac{Us}{Il}.$

Задача II.2.4.2. Мороз (15 баллов)

Темы: закон Джоуля – Ленца.

Условие

На мобильной полярной станции вышла из строя основная система обогрева, и пришлось в срочном порядке подключать давно не использовавшуюся резервную. Резервный нагреватель представляет собой теплопроводящий корпус, защищающий катушку, на которую намотан провод длиной L и площадью поперечного сечения S , обеспечивающий эффективную конвекцию. Штатный кабель питания от нагревателя, к сожалению, был утерян, поэтому нагреватель пришлось подключить к сети при помощи стандартного резервного кабеля, имеющего площадь s и длину l . Определите отношение P_n/P_k тепловой мощности, выделяющейся в нагревателе к тепловой мощности, выделяющейся в кабеле питания, если токонесущие жилы кабеля питания и провода нагревателя изготовлены из одного вещества. Дайте ответ с точностью до сотых.

Решение

Сопротивления R нагревателя и r кабеля питания вычисляются по формулам:

$$R = \rho \frac{L}{S}; \quad r = \rho \frac{l}{s},$$

где ρ — (одинаковое в обоих случаях) удельное сопротивление. Их отношение равно

$$\frac{R}{r} = \frac{Ls}{lS}.$$

Поскольку кабель и нагреватель включены в цепь последовательно, проходящие через них силы тока равны и тепловую мощность удобно искать по закону Джоуля – Ленца:

$$P_n = I^2 R; \quad P_k = I^2 r.$$

Таким образом, окончательно

$$\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{к}}} = \frac{l^2 R}{l^2 r} = \frac{L s}{l S}.$$

Погрешность 0,05.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
L , м	15	20	1
l , м	5	8	0,5
S , мм ²	2,5	3,5	0,2
s , мм ²	1,6	2	0,1

Ответ: $\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{к}}} = \frac{L s}{l S}.$

Задача II.2.4.3. Стопка (20 баллов)

Темы: конденсаторы.

Условие

На тонкий полимерный лист с обеих сторон напыляется металлическое покрытие. Измерения показывают, что емкость такого конденсатора равна C_0 . Затем лист разрезают на n равных частей и складывают их в стопку. Определите емкость C такой стопки при подключении источника напряжения между самым верхним и самым нижним ее слоями. Ответ дайте в пФ (пикофарадах), округлив до целого.

Решение

Емкость плоского конденсатора задается формулой:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

поэтому при разрезании листа на n частей площадь и, соответственно, емкость C_1 каждой из этих частей, оказывается в n раз меньше исходной: $C_1 = C_0/n$.

В то же время стопка конденсаторов представляет собой цепь из n одинаковых конденсаторов, соединенных последовательно. Поскольку эффективная емкость C такой цепи может быть найдена по формуле:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_1} = \frac{n}{C_1} = \frac{n^2}{C_0},$$

получим окончательно

$$C = \frac{C_0}{n^2}.$$

Погрешность 2 пФ.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
C , нФ	2	6	0,5
n	4	10	1

Ответ: $C = \frac{C_0}{n^2}$. С учетом порядков $C = \frac{C_0}{n^2} [\cdot 10^3]$.

Задача II.2.4.4. Два колеса (23 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Два колеса двухколесного балансирующего робота, исследующего отдаленный астрономический объект с очень гладкой поверхностью, расположены на разных концах одной оси длиной l . Проведя сеанс связи с Землей, робот получил указание двигаться прямо и стал вращать колеса с одинаковой угловой скоростью. Однако в ходе посадки робота одно из колес было слегка повреждено, в связи с чем его радиус оказался на Δr меньше, чем радиус r другого. Найдите Δr , если известно, что вместо прямой робот начал двигаться по окружности радиуса R (измеренного по центру робота). Колеса робота не проскальзывают по поверхности, кривизна астрономического объекта пренебрежимо мала. Ответ дайте в мм, округлив до десятых.

Решение

При равных угловых скоростях ω линейные скорости колес имеют величины ωr и $\omega(r - \Delta r)$. При этом, поскольку робот движется по окружности, то за время, за которое внешнее колесо проходит дугу длиной $\alpha(R + l/2)$, внутреннее колесо проходит дугу $\alpha(R - l/2)$. Следовательно

$$\frac{\omega(r - \Delta r)}{\omega r} = \frac{R - l/2}{R + l/2}.$$

Преобразуя это выражение, получим окончательно:

$$\Delta r = \frac{2rl}{2R + l}.$$

Погрешность 0,2 мм.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
r , см	40	60	4
l , см	80	120	10
R , м	80	120	5

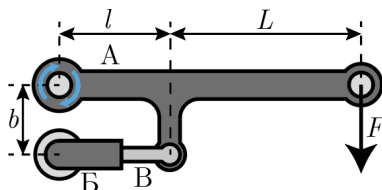
Ответ: $\Delta r = \frac{2rl}{2R+l}$. С учетом порядков $\Delta r = \frac{2rl \cdot 10^1}{2R \cdot 10^2 + l}$.

Задача II.2.4.5. Рычаг (25 баллов)

Темы: статика, давление газа.

Условие

Подъемный рычаг А, геометрические параметры b, l, L которого изображены на рисунке, шарнирно соединен с приводящим его в движение поршнем В, входящим в цилиндр Б, внутри которого содержится идеальный газ. Пренебрегая весом самого рычага, определите избыточное (над атмосферным) давление p в цилиндре, которое необходимо для удержания нагрузки F , приложенной к концу рычага, если площадь поршня равна S . Ответ дайте в МПа, округлив до десятых.



Решение

Относительно шарнира рычага сила F имеет плечо $L+l$. Сила давления поршня равна pS и имеет плечо b . Тогда условие равновесия имеет вид:

$$bpS = (l+L)F.$$

Отсюда

$$p = \frac{(l+L)F}{bS}.$$

Погрешность 0,2 МПа.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , см	15	25	2
L , см	30	50	5
b , см	8	16	1
S , см ²	16	24	2
F , кН	2	3	0,5

Ответ: $p = \frac{(l+L)F}{bS}$. С учетом порядков $p = \frac{(l+L)F}{bS} \cdot 10^1$.

Задача II.2.4.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Один из основателей нелинейной оптики, новой ветви науки, продемонстрировавший, что достаточно интенсивные лучи света могут взаимодействовать друг с другом и сами с собой, фокусироваться без линзы и неожиданно менять цвет. В его честь на территории Московского университета названа улица, лаборатория, спортивный клуб и несколько учебных аудиторий. Помимо выдающихся научных достижений, он также проявил себя как талантливый организатор, способствовал развитию кооперации исследователей самых разных направлений, включая биологию и экологию, а также был профессиональным альпинистом с двадцатилетним стажем. Трагедия в одном из горных походов, к несчастью, оборвала его выдающуюся жизнь.

1. Сергей Александрович Ахманов.
2. Рем Викторович Хохлов.
3. Анатолий Алексеевич Логунов.
4. Петр Николаевич Лебедев.
5. Александр Александрович Фридман.
6. Николай Алексеевич Умов.
7. Абрам Федорович Иоффе.
8. Роберт Эмильевич Ленц

Ответ: 2.

Третья волна. Задачи 8–9 класса

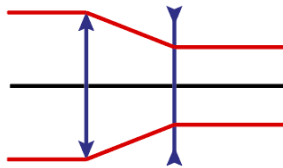
Задача II.2.5.1. Большой глаз (15 баллов)

Темы: геометрическая оптика.

Условие

Первый элемент системы ночного наблюдения имеет своей целью сузить пучок параллельных лучей, собираемых с большой площади, оставив его параллельным и неперевернутым. Он состоит из двух линз: собирающей и рассеивающей с оптическими силами D_1 и D_2 соответственно, установленных друг за другом и имеющих общую оптическую ось. Найдите расстояние между линзами. Ответ дайте в см, округлив до десятых.

Напоминание: оптической силой называется величина, обратная фокусному расстоянию линзы.



Решение

Изобразим описанную в условиях задачи оптическую схему. Из рисунка несложно видеть, что для описанного хода лучей фокусы двух линз должны совпадать. Но по определению оптической силы, фокусное расстояние линзы равно

$$F = \frac{1}{D}.$$

Подставляя в эту формулу D_1, D_2 и находя разницу между соответствующими расстояниями (верно учитывая знаки), получим:

$$l = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}.$$

Погрешность 0, 2 см.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
D_1 , дптр	3	5	0, 2
D_2 , дптр	-10	-8	0, 2

Ответ: $l = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}$. С учетом порядков $l = \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right) [\cdot 10^2]$.

Задача II.2.5.2. Атмосфера (15 баллов)

Темы: давление газа, гидростатика.

Условие

Оцените массу атмосферы, окружающей планету земного типа радиусом R , если ускорение свободного падения на ее поверхности равно g , а атмосферное давление — p_0 . Площадь сферы вычисляется по формуле $S = 4\pi R^2$. Ответ дайте в квинтлин (квинтиллионах) (10^{18}) кг, округлив до десятых.

Решение

Давление — это отношение силы к площади, перпендикулярно которой эта сила действует. В данном случае сила — общий вес атмосферы:

$$p_0 = \frac{mg}{S} = \frac{mg}{4\pi R^2}.$$

Для любой планеты земного типа толщина атмосферы пренебрежимо мала в сравнении с радиусом планеты, поэтому изменением ускорения свободного падения с высотой можно пренебречь. Получим окончательно

$$m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}.$$

Погрешность $0,1 \cdot 10^{15}$ т.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
p_0 , кПа	12	24	1
g , м/с ²	2	3,5	0,1
R , км	3600	4600	100

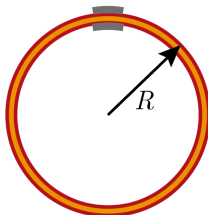
Ответ: $m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}$. С учетом порядков $m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g} [10^{-9}]$.

Задача II.2.5.3. Магниты (20 баллов)

Темы: центростремительное ускорение, динамика.

Условие

К тонкому ободу медного колеса радиусом R , расположенного в горизонтальной плоскости, снаружи и изнутри прикреплены два одинаковых маленьких магнитных датчика массой m каждый. Датчики держатся только за счет притяжения друг к другу. Колесо начинают постепенно раскручивать вокруг неподвижной оси, и в момент, когда период его вращения достигает величины T , внешний датчик отлетает от колеса. Определите силу давления внутреннего датчика на обод колеса непосредственно после этого. Ответ дайте в Н, округлив до целого. Длина окружности в 2π раз больше ее радиуса.



Решение

Внешний датчик отделяется в момент, когда сила F взаимодействия между магнитами оказывается недостаточна для того, чтобы создавать центростремительное ускорение $a = v^2/R$, где скорость v может быть найдена как отношение длины окружности к периоду обращения ($v = 2\pi R/T$):

$$F = ma = \frac{mv^2}{R} = \frac{4\pi^2}{T^2}mR.$$

Поскольку размеры датчиков и толщина колеса считаются пренебрежимо малыми, внутренний датчик продолжает двигаться с тем же ускорением, а значит, давить на колесо с той же силой F :

$$F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR.$$

Погрешность 1 Н.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
R , см	36	45	3
m , г	200	300	20
T , с	0,3	0,5	0,05

Ответ: $F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR$. С учетом порядков $F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR[\cdot 10^{-5}]$.

Задача II.2.5.4. Пот (20 баллов)

Темы: тепловые явления, кинематика жидкости.

Условие

Для охлаждения антропоморфного робота разрабатывается система, воспроизводящая потоотделение человека. По тонким капиллярам с площадью поперечного сечения S на поверхность робота поступает вода, которая затем растекается по «коже» робота и постепенно испаряется. Определите, какой должна быть постоянная скорость v течения воды в капилляре, если один такой капилляр должен обеспечивать отведение тепловой мощности N . Считайте, что вся вода успевает испариться. Удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг, ее плотность $\rho = 1000$ кг/м³. Ответ дайте в мм/с, округлив до целого.

Решение

Рассмотрим произвольный промежуток времени t . Согласно условиям, теплота Q , которую необходимо отвести от робота за это время, равна $Q = Nt$. Она может

быть определена через удельную теплоту парообразования и плотность воды как

$$Nt = Q = mL = \rho VL,$$

где объем испаренной жидкости V равен произведению расстояния d , которое прошла вода в капилляре на площадь его поперечного сечения:

$$V = dS = vtS.$$

Сопоставляя эти уравнения, получим

$$Nt = \rho vtSL,$$

откуда окончательно

$$v = \frac{N}{\rho SL}.$$

Погрешность 1 мм/с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
N , Вт	10	20	1
S , мм ²	0,1	0,2	0,01

Ответ: $v = \frac{N}{\rho SL}$. С учетом порядков $v = \frac{N}{\rho SL} [\cdot 10^6]$.

Задача II.2.5.5. Вагончик (25 баллов)

Темы: закон Ома, кинематика.

Условие

Автоматизированный вагончик движется по двум длинным рельсам, по одному из которых на него подается, а с другого — снимается электрический ток. Каждый метр одного рельса имеет сопротивление r , а двигатели вагончика — полное сопротивление R . Источник питания подает на рельсы напряжение U_0 , а для поддержания нормальной работы двигателей напряжение на них должно быть не ниже U . За какое время, стартовав от источника и двигаясь с постоянной скоростью v , вагончик сможет уехать достаточно далеко, чтобы двигатели перестали работать? Ответ дайте в с, округлив до целых.

Решение

Общее сопротивление цепи, в которую включены двигатели вагончика, равно

$$R_0 = 2r \frac{L}{l} + R,$$

где L — расстояние до источника, $l = 1$ м. Сила тока в цепи $I = U_0/R_0$, а напряжение на двигателе $U_d = IR$ (согласно закону Ома). Подставляя $U_d = U$, $L = vt$, получим:

$$U = U_0 \frac{R}{R_0} = U_0 \frac{R}{2rvt/l + R}.$$

Решая это уравнение относительно t , получим окончательный ответ:

$$t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot 1 \text{ м.}$$

Погрешность 1 мин.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
R , Ом	400	640	40
r , мОм	400	640	40
U , В	200	220	5
U_0 , В	320	360	5
v , м/с	6	8	0,5

Ответ: $t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot 1 \text{ м.}$ С учетом порядков $t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} [\cdot 10^3]$.

Задача II.2.5.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Вектор, описывающий плотность потока энергии в волнах, в англоязычной традиции носит фамилию английского физика, который в 1884 году вывел выражения для данного вектора в случае электромагнитных волн. Десятью годами ранее русский физик и философ вывел аналогичные уравнения для упругих волн, а потому в русской традиции вектор носит и его имя. Помимо выдающихся успехов в теории упругости, он сделал множество значимых открытий в оптике, а также выдвинул гипотезы о качественно правильном характере связи между массой и энергией, позже развитые в знаменитую формулу Эйнштейна $E = mc^2$. Выберите из приведенного списка выдающихся физиков имя этого русского ученого.

1. Владимир Александрович Фок.
2. Николай Алексеевич Умов.
3. Михаил Васильевич Остроградский.
4. Роберт Эмильевич Ленц.
5. Петр Николаевич Лебедев.
6. Александр Александрович Фридман.
7. Анатолий Алексеевич Логунов.
8. Рем Викторович Хохлов.

Ответ: 2.

Третья волна. Задачи 10–11 класса

Задача II.2.6.1. Поглотитель (15 баллов)

Темы: тепловые явления, радиоактивность.

Условие

Быстро движущиеся нейтроны, образующиеся при делении атомных ядер, взаимодействуя с молекулами воды, теряют энергию до значений, соответствующих энергии теплового движения, которая, как правило, много меньше энергии ядерного распада. Оцените, какое число нейтронов, движущихся со скоростью v , должно потерять свою энергию в кювете с водой в виде прямоугольного параллелепипеда со сторонами a, b, d , чтобы вода в этой кювете нагрелась на $\Delta t = 1^\circ\text{C}$. Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, ее плотность $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. Масса нейтрона $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Ответ дайте в квдрлн (квадриллионах) (10^{15}) штук, округлив до целого.

Решение

Один нейтрон обладает кинетической энергией $K = mv^2/2$. Поскольку эта энергия на несколько порядков величины выше характерной энергии теплового движения, которую можно оценить как $kT \approx 4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ для комнатной температуры, можно считать, что вся его энергия передается воде. Для нагрева воды на Δt требуется энергия, равная

$$Q = cm\Delta t = c\rho abd\Delta t.$$

Приравнявая ее nK , получим ответ:

$$n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2}.$$

Погрешность 3 квдрлн.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
v , км/с	10 000	20 000	1000
a , см	40	60	5
b , см	10	16	2
d , см	10	16	2

Ответ: $n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2}$. С учетом порядков $n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2} [\cdot 10^{-24}]$.

Задача II.2.6.2. Дрейф (18 баллов)

Темы: электрический ток, МКТ.

Условие

В некотором полупроводнике концентрация подвижных электронов равна n . Какой должна быть дрейфовая (средняя) скорость электронов в элементе с площадью поперечного сечения S , изготовленном из этого полупроводника, чтобы сила электрического тока в данном сечении была равна I ? Модуль заряда электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Ответ дайте в см/с, округлив до целого.

Решение

Рассмотрим произвольный отрезок времени t . При силе тока I за это время через сечение проводника должен пройти заряд $q = It$. Этот заряд равен произведению числа N пересекающих сечение электронов на заряд одного из них e . В то же время при скорости дрейфа v в среднем за время t электроны проходят расстояние $l = vt$. Это значит, что через сечение проходят электроны, содержащиеся в объеме $V = lS = vtS$. Из определения концентрации следует, что их общее число $N = nV$. Совмещая все эти выражения, получим

$$It = q = enV = envtS,$$

откуда легко выражается ответ:

$$v = \frac{I}{Sne}.$$

Погрешность 2 см/с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$n, 10^{18} \text{ м}^{-3}$	6	9	1
$S, \text{ мм}^2$	2, 4	3	0, 1
$I, \text{ мкА}$	1, 5	2, 5	0, 1

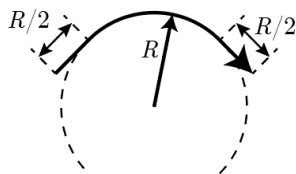
Ответ: $v = \frac{I}{Sne}$. С учетом порядков $v = \frac{I}{Sne} [\cdot 10^{-16}]$.

Задача II.2.6.3. Виразж (20 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Квадракopter может двигаться по любой траектории с условием, что его скорость ни в одной точке этой траектории не превышает v , а его ускорение не превышает a (при этом направления скорости и ускорения не имеют значения). За какое минимальное время он сможет пройти по траектории, изображенной на рисунке, состоящей из двух прямолинейных участков и четверти окружности радиуса R , если в начальной и в конечной точках коптер должен иметь строго нулевую скорость? Ответ дайте в с, округлив до десятых.



Решение

Общая длина траектории $(4 + \pi/2)R < 6R$. Однако, даже двигаясь все время с набором скорости на расстоянии $6R$ с ускорением a , строго сонаправленным со скоростью, коптер успел бы разогнаться только до

$$v_1 = \sqrt{3aR}.$$

Поскольку эта скорость меньше v , ограничения на максимальную скорость в задаче на самом деле несущественны. В то же время ограничения на скорость накладывает центростремительное ускорение, с которым коптер проходит изогнутый участок: поскольку оно не должно превышать a , скорость на повороте не может быть выше $v_1 = \sqrt{aR}$. Но из формулы

$$\frac{v_1^2 - v_0^2}{2} = al = \frac{aR}{2}$$

можно видеть, что v_1 в точности совпадает со скоростью, которую успевает набрать квадрокоптер на первом прямолинейном и сбросить на втором прямолинейном участках. Таким образом, он должен двигаться равноускоренно на двух участках длиной $R/2$, каждый из которых отнимет время

$$t_1 = \frac{v_1}{a} = \sqrt{\frac{R}{a}}$$

и равномерно на повороте, на что уйдет время

$$t_2 = \frac{\pi R}{2v_1} = \frac{\pi R}{2\sqrt{aR}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R}{a}}$$

В общей сложности, подобный полет займет время $t_2 + 2t_1$:

$$t = \sqrt{\frac{R}{a}} \left(2 + \frac{\pi}{2} \right).$$

Погрешность 0,2 с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
v , м/с	20	40	2
a , м/с ²	3	4	0,2
R , м	15	20	1

Ответ: $t = \sqrt{\frac{R}{a}} \left(2 + \frac{\pi}{2} \right).$

Задача II.2.6.4. Звездная величина (20 баллов)

Темы: фотометрия, геометрическая оптика.

Условие

Для получения качественного изображения тусклых звезд важно собрать в телескоп максимально возможную долю испущенного такой звездой излучения, что требует больших размеров основного зеркала или линзы телескопа. Яркость звезды в астрономии принято измерять в единицах видимой звездной величины (ВЗВ), увеличение ВЗВ на 1 означает уменьшение световой энергии, испускаемой звездой, в $k = \sqrt[5]{100}$ раз. При помощи телескопа-рефрактора с площадью главного зеркала s получено качественное изображение некоторой звезды. Найдите площадь S главного зеркала второго телескопа, позволяющего получить в таком же качестве изображение звезды, ВЗВ которой больше на n единиц. Ответ дайте в см^2 , округлив до целого.

Решение

Полная мощность светового потока, попадающего в объектив телескопа, определяется как произведение площади S этого объектива на плотность этого потока I . Увеличение видимой звездной величины на n единиц означает уменьшение плотности светового потока в k^n раз. Следовательно, для компенсации этого изменения площадь объектива должна быть в k^n раз увеличена:

$$\frac{S}{s} = k^n.$$

Отсюда

$$S = sk^n = 100^{n/5}s.$$

Погрешность 5 см^2 .

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$s, \text{ см}^2$	20	50	10
n	2	5	1

Ответ: $S = sk^n = 100^{n/5}s$.

Задача II.2.6.5. Большая линза (22 баллов)

Темы: фотометрия, масса и плотность.

Условие

Яркость звезды принято измерять в единицах видимой звездной величины (ВЗВ), одна единица которой означает изменение световой энергии, испускаемой звездой,

в $k = \sqrt[5]{100}$ раз. Определите, какой массы линзу объектива телескопа-рефрактора пришлось бы использовать при сохранении пропорций и материала линзы, чтобы получить изображение некоторой тусклой звезды в таком же качестве, как было получено изображение на n единиц ВЗВ более яркой звезды при помощи телескопа с объективом, масса которого составляла m . Ответ дайте в т, округлив до десятых.

Решение

Как и в предыдущей задаче, площадь объектива должна быть в k^n раз увеличена. Это требует изменения радиуса объектива в $\sqrt{k^n} = k^{n/2}$ раз. Но при сохранении пропорций объем любого тела и, следовательно, масса такого объектива должны измениться пропорционально кубу радиуса:

$$M = mk^{3n/2}.$$

Погрешность 0,1 т.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
m , г	100	200	20
n	7	9	1

Ответ: $vM = k^{3n/2}m = 100^{0,3n}m$. С учетом порядков $M = 100^{0,3n}m \cdot 10^{-6}$.

Задача II.2.6.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Вектор, описывающий плотность потока энергии в волнах, в англоязычной традиции носит фамилию английского физика, который в 1884 году вывел выражения для данного вектора в случае электромагнитных волн. Десятью годами ранее русский физик и философ вывел аналогичные уравнения для упругих волн, а потому в русской традиции вектор носит и его имя. Помимо выдающихся успехов в теории упругости, он сделал множество значимых открытий в оптике, а также выдвинул гипотезы о качественно правильном характере связи между массой и энергией, позже развитые в знаменитую формулу Эйнштейна $E = mc^2$. Выберите из приведенного списка выдающихся физиков имя этого русского ученого.

1. Владимир Александрович Фок.
2. Александр Александрович Фридман.
3. Рем Викторович Хохлов.
4. Николай Алексеевич Умов.
5. Михаил Васильевич Остроградский.
6. Роберт Эмильевич Ленц.

7. Петр Николаевич Лебедев.
8. Анатолий Алексеевич Логунов.

Ответ: 4.

Инженерный тур

Задача II.3.1. Ядерная физика (20 баллов)

Темы: ядерная физика, обогащение ядерного топлива, ядерный топливный цикл.

Условие

Сколько необходимо добыть природного урана m , чтобы получить 1 т обогащенного урана с обогащением $x = 1\%$, при неизвлекаемом остатке $x_{\text{отв}} = 0,25\%$. Ответ дайте с точностью до десятых долей кг.

Решение

Соотношение между массами природного и обогащенного урана имеет вид:

$$mU_{\text{об}} = m \cdot \frac{x_0 - x_{\text{отв}}}{x - x_{\text{отв}}}.$$

$x_0 = 0,711\%$ — обогащение природного урана.

$x_{\text{отв}} = 0,25\%$ — неизвлекаемый остаток.

x = заданное обогащение урана %.

Тогда получаем:

$$m = x = \frac{mU_{\text{об}}}{\frac{x_0 - x_{\text{отв}}}{x - x_{\text{отв}}}} = \frac{1000}{\frac{0,711 - 0,25}{1 - 0,25}} = 10000,711 - 0,251 - 0,25 = 1626,9 \text{ кг.}$$

Ответ: 1626,9 кг.

Задача II.3.2. Атомная (ядерная) энергия (20 баллов)

Темы: атомная физика, законы сохранения и переноса энергии и массы.

Условие

Какую массу уносит электромагнитное излучение нити накала электрической лампочки мощностью 40 Вт за 500 ч работы?

Решение

Для определения изменения энергии ядра воспользуемся законом Эйнштейна, согласно которому массе соответствует энергия, а изменению массы соответствует изменение энергии, т. е.: $E = mc^2$ и $\Delta E = \Delta mc^2$. Поэтому для нахождения унесенной массы перепишем уравнение Эйнштейна в удобной для нас форме:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} \cdot \Delta E = 40 \cdot 500 \cdot 3,6 \cdot 10^3, c = 3 \cdot 10^9,$$

в результате получаем:

$$\Delta m = \frac{70 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^6} = \frac{72 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^{16}} = 8 \cdot 10^{-10}.$$

Ответ: $8 \cdot 10^{-10}$ г.

Задача II.3.3. Электротехника в ядерной энергетике (20 баллов)

Темы: основы электротехники, основы метрологии, задачи на внимательность.

Условие

Какое напряжение покажет вольтметр в электрической цепи (рис. II.3.1) если $R_1 = 7,3$ Ом, $R_2 = 9,7$ Ом, $R_3 = 10,2$ Ом, $R_4 = 9,7$ Ом, $R_5 = 9,7$ Ом, $U_{\text{вх}} = 100$ В?

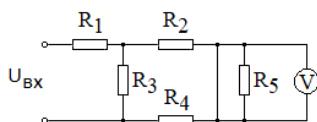


Рис. II.3.1

Решение

0 В — так как резистор R_5 — закорочен.

Ответ: 0.

Задача II.3.4. Электроизмерения в ядерной энергетике (20 баллов)

Темы: основы электротехники, основы электрических машин переменного тока.

Условие

Катушку индуктивности подключили в сеть постоянного тока, а затем подключили в сеть переменного тока с частотой 50 Гц. В первом случае $I_1 = 4$ А, $U_1 = 80$ В, а во втором случае $I_2 = 2$ А, $U_2 = 50$ В. Определите значение индуктивного сопротивления X_L этой катушки при подключении к сети переменного тока с частотой 400 Гц.

Решение

$$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{80}{4} = 20 \text{ Ом};$$

$$Z = \frac{U_2}{I_2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ Ом};$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{25^2 - 20^2} = 15 \text{ Ом}.$$

Ответ: 15 Ом.

Работа наставника НТО на втором отборочном этапе

На втором отборочном этапе участникам предлагаются индивидуальные и командные задачи в рамках выбранных профилей. Для подготовки к нему наставник может использовать следующие рекомендуемые форматы и мероприятия:

- Подготовка по образовательным программам НТО по ряду технологических направлений.
- Разбор задач второго отборочного этапа НТО прошлых лет.
- Прохождение онлайн-курсов по разбору задач НТО прошлых лет.
- Прохождение онлайн-курсов, рекомендованных разработчиками профилей.
- Разбор материалов для подготовки к профилям.
- Практикумы. Для организации практикумов возможно использовать разные подходы или их комбинации:
 - Проведение практикумов по описаниям на страницах профилей и материалов для подготовки.
 - Декомпозиция задач заключительных этапов прошлых лет для выделения наиболее актуальных элементов и их изучения.
 - Анализ технических знаний и навыков (hard skills), требуемых для конкретного профиля, и самостоятельная разработка или поиск занятия для развития наиболее актуальных из них.
 - Посещение практикумов на площадках подготовки и онлайн-мероприятий от разработчиков профилей. Объявления о таких мероприятиях публикуются в группах НТО в VK и в телеграм-канале для наставников НТО (https://t.me/kruzhok_association).

Второй отборочный этап

Пакет задач включает ряд индивидуальных задач на общую инженерную грамотность, программирование и основы ядерной физики.

Несколько задач командной части объединены одной общей легендой, являющейся также основой для командной инженерной задачи финала.

Компетенции, охватываемые представленными задачами, так или иначе необходимы участникам на финальном этапе.

Индивидуальные задачи

Задача IV.1.1. Общая инженерная грамотность (25 баллов)

Темы: умение ориентироваться в общих инженерных вопросах.

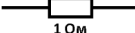
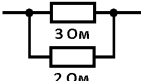
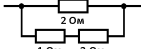
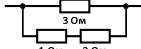
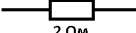
Условие

Даны резисторы номиналом 1, 2 и 3 Ома (по одной штучке). Какие значения сопротивлений можно получить в диапазоне от 1 до 2 Ом включительно, соединяя эти резисторы различным образом (при этом не обязательно использовать сразу все)?

В ответе следует перечислить все возможные значения, округляя их до сотых долей.

Решение

Искомые варианты сопротивлений можно получить, соединяя резисторы следующим образом (смотри таблицу).

1 Ом	1,2 Ом	1,33 Ом (4/3 Ом)	1,5 Ом	2 Ом
				

Ответ: 1,00 1,20 1,33 1,50 2,00.

Задача IV.1.2. Алгоритмическое программирование (25 баллов)

Темы: умение составлять и анализировать сложные алгоритмы, умение писать программы на выбранном языке программирования.

Условие

В государстве M казначейство выбирает набор номиналов монет, который был бы наиболее удобен жителям. Для проверки удобства министру финансов нужна программа, с помощью которой можно было бы задать набор монет, и она разменяла бы любую указанную сумму минимальным количеством монет.

Формат входных данных

Первая строка — количество монет N в наборе (натуральное число в диапазоне от 1 до 10).

Вторая строка — набор (N натуральных чисел через пробел, каждое в диапазоне от 1 до $2 \cdot 10^9$, числа не отсортированы).

Третья строка — сумма (натуральное число в диапазоне от 1 до $2 \cdot 10^9$).

Формат выходных данных

Если размен возможен, то выходная информация должна быть в виде одной строки следующего содержания:

`сумма=количество*номинал+количество*номинал+...+количество*номинал`

(пробелов в строке нет; в конце должен быть перевод строки; номиналы должны быть упорядочены по убыванию).

Если размен невозможен, то выходная информация должна быть в виде одной строки:

`сумма=impossible`

(в конце должен быть перевод строки).

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
4
1 5 10 2
123
Стандартный вывод
123=12*10+1*2+1*1

Пример №2

Стандартный ввод
2
5 10
123
Стандартный вывод
123=impossible

Тесты

Тест №1

Стандартный ввод
4 15 10 1 100 120
Стандартный вывод
$120=1*100+2*10$

Тест №2

Стандартный ввод
3 1 7 10 14
Стандартный вывод
$14=2*7$

Тест №3

Стандартный ввод
3 2 7 10 15
Стандартный вывод
$15=1*7+4*2$

Тест №4

Стандартный ввод
3 2 6 10 13
Стандартный вывод
$13=\text{impossible}$

Тест №5

Стандартный ввод
3 1 50 55 351
Стандартный вывод
$351=7*50+1*1$

Тест №6

Стандартный ввод
3 1 50 55 354
Стандартный вывод
$354=7*50+4*1$

Тест №7

Стандартный ввод
3 1 50 55 355
Стандартный вывод
$355=1*55+6*50$

Тест №8

Стандартный ввод
5 2 4 8 16 32 341
Стандартный вывод
341=impossible

Тест №9

Стандартный ввод
10 1 10 100 1000 10000 100000 1000000 10000000 100000000 1000000000 1234567
Стандартный вывод
$1234567=1*1000000+2*100000+3*10000+4*1000+5*100+6*10+7*1$

Тест №10

Стандартный ввод
10 1 2 4 8 16 32 64 128 256 512 1193
Стандартный вывод
$1193=2*512+1*128+1*32+1*8+1*1$

Тест №11

Стандартный ввод
5 2 12 25 30 40 34
Стандартный вывод
$34=1*30+2*2$

Тест №12

Стандартный ввод
5 2 12 25 30 40 35
Стандартный вывод
$35=1*25+5*2$

Тест №13

Стандартный ввод
5 2 12 25 30 40 36
Стандартный вывод
$36=3*12$

Тест №14

Стандартный ввод
5 2 12 25 30 40 37
Стандартный вывод
$37=1*25+1*12$

Тест №15

Стандартный ввод
5 2 12 25 30 40 38
Стандартный вывод
$38=3*12+1*2$

Тест №16

Стандартный ввод
5 2 12 25 30 40 23
Стандартный вывод
23=impossible

Тест №17

Стандартный ввод
10 30 20 10 20 30 20 10 1 2 3 123
Стандартный вывод
123=4*30+1*3

Тест №18

Стандартный ввод
10 30 21 10 10 21 30 30 1 2 2 42
Стандартный вывод
42=2*21

Тест №19

Стандартный ввод
10 30 21 10 10 21 30 30 1 2 2 43
Стандартный вывод
43=2*21+1*1

Тест №20

Стандартный ввод
10 30 21 10 10 21 30 30 1 2 2 44
Стандартный вывод
44=2*21+1*2

Решение

Стратегическое планирование решения

1. У нас есть монеты разных номиналов. Целесообразно их отсортировать, чтобы легче было писать программу. Например, по убыванию, как требуется в выводе результата.
2. Забавы ради министр финансов может дать программе повторяющиеся номиналы. Чтобы повторы не мешались, от них вполне можно избавиться.
3. В программу хорошо бы добавить анализ корректности введенных данных (правильность формата чисел, т. е. отсутствие букв и других нецифровых знаков; при вводе из файла — отсутствие неожиданного конца файла; количество монет ненулевое и не превышает 10; введенная сумма положительна). Однако такую проверку можно и не включать, если не требуется явно в условии. Поэтому чтобы не загромождать решение, целесообразно обойтись без проверки.
4. Размен возможен разными путями. Возникает задача поиска стратегии размена. И сразу же возникает мысль, что если мы будем пытаться набрать размениваемую сумму монетами старшего достоинства, то их будет минимальное количество. А с остатком поступим так же — найдем старшую монету, которая не больше значения остатка, и будем набирать остаток этой монетой. И так далее, до самого маленького номинала.
5. Проверка такой стратегии на принятой у нас системе номиналов показывает, что, действительно, при такой схеме размена получается минимальное количество монет. Однако если министр финансов решит задать неожиданный набор номиналов, то такая схема может не дать минимального размена. В качестве примеров рассмотрим варианты:
 - 5.1. Номиналы 1, 5, 6, сумма 10. Разменивая со старших, получим $6 + 1 + 1 + 1 + 1$. Это 5 монет. А в минимальном размере всего две монеты: $5 + 5$. Вывод: получившийся размен не является минимальным.
 - 5.2. Номиналы 2, 3, 5 и сумма 9. Размениваем со старших: $5 + 3 + ?$ — для продолжения размена нужна монета достоинством 1, которой у нас нет. Вывод: можно встретить ситуацию, когда размен по нашей стратегии вообще не получится. А ведь минимальный размен в этом примере возможен даже двумя вариантами: $3 + 3 + 3$ или $5 + 2 + 2$.
 - 5.3. Номиналы 2, 4, 6, а сумма любая нечетная. Размен вообще невозможен, и тут ничего не поделаешь.

Поиск нужной стратегии размена

Поскольку номиналы на входе программы могут быть произвольными, возникает мысль перебрать все возможные варианты размена, включая даже кучу монет минимального достоинства, и найти среди них вариант с минимальной длиной. Однако если у нас, например, 10 разных монет и достаточно большая сумма, количество таких вариантов получится астрономическим, а решение окажется за пределами вычислительной мощности современных компьютеров.

Как же сократить такой перебор?

Предположим, мы начинаем размен в «в лоб», начиная со старшей подходящей монеты. Допустим, сумма смогла разменяться. Пример: номиналы 1, 5, 6, сумма 10. Размен получится $6 + 1 + 1 + 1 + 1$. Это пять монет. Пусть это будет текущим минимумом. Тогда при дальнейшем переборе, начиная размен с монет помладше,

разумно прекращать размен, если количество монет превышает текущий минимум. Например, начиная размен «единичками», мы набираем $1+1+1+1+1$ — и размен еще не завершился (от исходных 10 единиц осталось еще 5). Значит, можно не доводить этот вариант до конца, а перейти к следующему.

Тактика размена

1. Ищем самый старший номинал, который не превышает размениваемую сумму (ведь остальные номиналы бесполезны).
2. Вычитаем монету этого номинала из суммы. Учитываем эту монету в количестве монет и в получившемся наборе размена.
3. Остаток пытаемся разменять до конца таким же порядком (рекурсивно), учитывая, что номиналы нужно перебирать с текущего и младше (более старшие бесполезны).
4. Если размен успешно завершен (остаток стал равен нулю), запоминаем получившееся количество монет и их набор. А если это не первый размен, то сравниваем с предыдущим найденным, и запоминаем новый, если он лучше (количество монет меньше).
5. Если мы хоть один раз разменяли сумму до конца, у нас появляется текущий минимум количества монет в размене. Тогда при размене остатка можно следить за получающимся количеством монет и прекращать размен, если количество получается не меньшим, чем уже найденное текущее минимальное.

Реализация размена

Структура данных.

Объявляем глобальными ключевые переменные, чтобы они были доступны всем функциям программы. Программа маленькая, поэтому такая технология позволяет сделать код компактным и понятным. Переменные можем хранить в типе `int` (в современных реализациях это 32-разрядное целое со знаком, диапазон достаточен для требуемых значений чисел). Переменные следующие:

1. количество номиналов;
2. собственно номиналы;
3. глобальный минимум количества монет в размене (в начале работы 0 — это признак того, что размен еще ни разу не делали);
4. массив для минимального размера — количество монет каждого номинала в этом размене;
5. количество монет в текущем варианте размена (поскольку будет перебор вариантов);
6. количество монет каждого номинала в текущем варианте размена.

Общее описание алгоритма

1. Рекурсивная функция `razmen` принимает два параметра: размениваемая сумма и номинал старшей монеты, с которой нужно пытаться начинать размен (по мере перебора вариантов этот номинал постепенно сдвигается к младшим, т. е. ближе к концу массива номиналов).

В начале функции проверяем «дно» рекурсии: если передана нулевая сумма, значит, размен завершен, надо проанализировать получившийся вариант размена, сравнив его по количеству монет с минимальным. Если он лучше — запомнить, теперь он стал минимальным.

Затем проводится перебор вариантов, начиная с переданного номинала старшей монеты, следующим образом: находим монету, которую можно вычестить из суммы; поиск делаем с переданного старшего номинала в сторону младших.

Если поиск успешен (монету можно вычестить) — проверяем, какая при этом получится текущая длина размена (количество монет в размене). Если количество станет большим или равным уже найденному минимальному — завершаем этот вариант перебора (т. е. глубже перебирать нецелесообразно). Если же количество монет до прежде найденного минимального еще не доросло, то учитываем эту монету в текущем размене (добавляем единицу в количество и в вариант размена), вычитаем ее (всего одну монету) из суммы и снова, рекурсивно, вызываем функцию `razmen` (саму себя) с новой суммой и найденной старшей монетой.

Если же поиск монеты, которую можно вычестить, оказался безуспешным, то просто завершаем перебор, поскольку этот вариант размена уже никак не приведет к нулевой сумме.

2. В главной функции (`main`) обнуляем глобальные массивы размена, читаем входные данные и заполняем массив номиналов, сортируем его «пузырьком» (всего 10 элементов, поэтому более продвинутый алгоритм сортировки использовать нецелесообразно), выкидываем повторяющиеся номиналы.

Затем пробуем делать размен, вызывая функцию `razmen`, начиная со старшего номинала монеты (первый элемент массива номиналов) и далее к младшим. Таким образом, кроме размена со старшей монеты, будут перебраны все возможные варианты размена, начиная и с монет помладше, т. е. будут преодолены трудности 5а и 5б стратегического планирования.

Если в результате минимальная длина размена осталась равной 0 — значит, функции при переборе ни разу не удалось завершить размен, следовательно, он невозможен. Преодолена трудность 5с стратегического планирования. Печатаем нужную фразу.

Если минимальная длина размена оказалась большей нуля — значит, это и есть искомый размен. Печатаем его, он находится в массиве.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке C.

```

1  #include <stdio.h>
2
3  int N;           // количество номиналов в наборе
4  int nominal[10]; // номиналы
5  int totalmin;    // глобальный минимум количества монет в размене
6  int totalkol[10]; // количество монет каждого номинала в минимальном размене
7  int total;       // количество монет в текущем размене
8  int kol[10];     // количество монет каждого номинала в текущем размене
9
10 // Функция размена и подсчета (рекурсивная)
11 void razmen(int sum, int head)
12 // аргументы - сумма и индекс старшей монеты для разменивания
13 {
14     int i;
15     // Дно рекурсии - когда все разменялось
16     if (sum==0)
17     {
```

```

18     if (totalmin==0 || total<totalmin)
19         // этот размен самый первый или лучше прежнего - запомнить его
20     {
21         totalmin = total;
22         for (i=0; i<N; ++i) totalkol[i]=kol[i];
23     }
24     return;    // размен закончен
25 }
26
27 // Не 0 - перебор вариантов размена, начиная с текущего старшего (head) и
    ↪ младше
28 for (i=head; i<N && nominal[i]>0; ++i)
29     // проверка "больше нуля" призвана пропустить нулевые номиналы,
30     // появившиеся взамен выкинутых повторяющихся после чтения исходных данных
31     {
32         if (sum >= nominal[i])
33             // нашли старший номинал монетки, которую можно добавить в размен
34         {
35             if (totalmin>0 && total+1 >= totalmin) return;
36             // это не первый размен И увы, с этой монеткой их количество будет не
    ↪ меньше,
37             // чем в ранее найденном размене - значит, неудача, прекратить дальнейший
    ↪ перебор
38             ++total; ++kol[i];
39             // учли монетку и добавили ее в размен...
40             razmen(sum-nominal[i],i);
41             // перебрали дальше все варианты с того же номинала (и младше)...
42             --kol[i]; --total;
43             // ... и вычли монетку обратно, чтобы пробовать перебирать следующие
    ↪ варианты.
44         }
45     }
46     return;
47     // все перебрали
48 }
49
50 int main()
51 {
52     int sum, head, i,j,t;
53
54     // Инициализация
55     for (i=0; i<10; ++i) nominal[i]=kol[i]=0;
56     totalmin = 0;    // 0 - это "еще не разменивали"
57
58
59     // Чтение номиналов и суммы
60     scanf("%d", &N);
61     for (i=0; i<N; ++i)    scanf("%d", &nominal[i]);
62     scanf("%d", &sum);
63
64     // Сортировка номиналов по невозрастанию - обычный "пузырек"
65     for (i=0; i<N-1; ++i)
66         for (j=i+1; j<N; ++j)
67             if (nominal[i]<nominal[j])
68             {
69                 t = nominal[i];
70                 nominal[i] = nominal[j];
71                 nominal[j] = t;
72             }
73

```

```

74 // Выбрасывание одинаковых номиналов
75 for (i=0; i<N-1; ++i)
76     if (nominal[i]>0 && nominal[i]==nominal[i+1])
77         // совпадают, надо выкинуть i+1-й элемент со сдвигом влево остатка массива
78         {
79             for (j=i+2; j<N; ++j)
80                 nominal[j-1] = nominal[j];
81             nominal[N-1]=0;
82             // поскольку это последний сдвинутый элемент,
83             // на его месте должен оказаться 0 (пустой)
84             --i;
85             // это чтобы в следующем шаге опять проверить тот же (i-й) номинал на
86             // совпадение со следующим, потому что могут оказаться несколько
87             //   ↪   одинаковых
88         }
89
90 // Перебор всех вариантов размена, начиная со старшего номинала
91 for (head=0; head<N && nominal[head]>0; ++head)
92     // проверка "больше нуля" призвана пропустить нулевые номиналы,
93     // появившиеся взамен выкинутых повторяющихся
94     razmen(sum, head);
95
96 // Печать результата
97 if (totalmin) // успешно разменяли
98 {
99     printf ("%d=", sum);
100     t = 0; // флаг "еще не печатали n*k"
101     for (i=0; i<N; ++i)
102     {
103         if (totalkol[i]) // в размене есть i-я монета
104         {
105             if (t) printf("+");
106             printf("%d*%d", totalkol[i], nominal[i]);
107             t = 1; // "напечатали n*k"
108         }
109     }
110     printf("\n");
111 }
112 else
113     // не удалось разменять
114     printf("%d=impossible\n", sum);
115 return 0;
116 }

```

Задача IV.1.3. Ядерная физика (25 баллов)

Темы: ядерная физика, законы сохранения и переноса энергии и массы.

Условие

На какой мощности работает реактор на тепловых нейтронах, если расход ^{235}U составляет 1,5 кг в сутки? (Ответ представьте в МВт с точностью до десятых).

Решение

$$m_{\text{выгорания}} = 51 \cdot 10 - 3 \cdot N \cdot t,$$

где $51 \cdot 10^{-3}$ — удельный расход топлива — г/МВт·ч,

N — мощность работы реактора МВт,

t — время в ч.

$$N = \frac{m_{\text{выгорания}}}{0,051 \cdot t} = \frac{1500}{0,051 \cdot 24} = \frac{1500}{1,224} = 1225,49 \text{ МВт.}$$

Ответ: $1225,5 \pm 5$ МВт.

Задача IV.1.4. Ядерная физика (25 баллов)

Темы: ядерная физика, физика ядерных реакторов, законы сохранения и переноса энергии и массы.

Условие

Какое количество ^{235}U разделится и превратится в ^{236}U за один невисокосный год работы ядерного реактора на тепловых нейтронах на мощности 200 МВт? (Ответ представьте в кг с точностью до 1 кг).

Решение

$$m_{\text{деления}} = 1,05 \cdot N \cdot t = 1,05 \cdot (10^{-3}) \cdot 200 \cdot (10^6) \cdot 365 = 76650 \text{ г,}$$

$$m_{236\text{U}} = 1,05 \cdot \alpha \cdot N \cdot t,$$

$$m_{\text{выгорания } 235\text{U}} = 1,05 \cdot N \cdot t + m_{236\text{U}} = 1,05 \cdot 10^{-3} \cdot (1,05 + 0,17) \cdot 200 \cdot (10^6) \cdot 365 = 93513 \text{ г,}$$

$$m_{236\text{U}} = m_{\text{выгорания } 235\text{U}} - m_{\text{деления}} = 93513 - 76650 = 16863 \text{ г,}$$

где 1,05 — масса урана в г, который необходимо разделить, чтобы получить энергию 1 МВт в сутки,

$51 \cdot 10^{-3}$ — удельный расход топлива — г/МВт·ч,

N — мощность работы реактора МВт,

t — время в ч,

$\alpha = 0,17$ — параметр, зависящий от энергии нейтронов взаимодействующих с топливом, значение данного параметра приведено для реактора на тепловых нейтронов с ^{235}U .

Ответ: $16,863 \pm 5$ кг.

Командные задачи

Теоретическая часть легенды задания: <https://disk.yandex.ru/d/W04sUS89LhA5gA/theory.pdf>.

Задача IV.2.1. Ядерная физика (10 баллов)

Темы: ядерная физика, ядерные технологии, системы автоматического управления.

Условие

Название системы управления, рассматриваемого в теоретической части задания.

Решение

Внимательно ознакомившись с легендой задачи, участник должен выбрать из текста легенды правильный ответ.

Ответ: регулятор перепада давления на уплотнениях ГЦН.

Задача IV.2.2. Ядерная физика (10 баллов)

Темы: ядерная физика, ядерные технологии, системы автоматического управления.

Условие

Значение, диапазон и единицу измерения поддерживаемого параметра для безопасной работы АЭС с ВВЭР-1000.

Решение

Внимательно ознакомившись с легендой задачи, участник должен выбрать из текста легенды правильный ответ.

Ответ:

- значение: 0,75;
- диапазон: от 0,5 до 0,8;
- единица измерения: МПа.

Задача IV.2.3. Ядерная физика (10 баллов)

Темы: ядерная физика, ядерные технологии, системы автоматического управления.

Условие

Наименование исполнительного механизма с регулирующим органом, который осуществляет изменение (поддержание) регулируемого параметра в системе.

Решение

Внимательно ознакомившись с легендой задачи, участник должен выбрать из текста легенды правильный ответ.

Ответ: клапан, который регулирует давление на входе в объект управления.

Задача IV.2.4. Ядерная физика (20 баллов)

Темы: ядерная физика, ядерные технологии, системы автоматического управления.

Условие

Используя упрощенную схему объекта управления на рисунке 11, реализуйте модель объекта управления без моделей исполнительного механизма и системы регулирования в виде разностного уравнения. Задавшись параметрами модели объекта управления $K = 1$, $T = 0,5$ с, и считая давление в первом контуре реактора ВВЭР-1000 неизменным, равным 15,6 МПа, напишите программу (на удобном для вас языке программирования) для расчета времени установления необходимого перепада давления для безаварийной работы реакторной установки при условии, что на объект управления подается входное управляющее воздействие величиной 18 МПа. В ответе укажите время установления необходимого перепада давления для безаварийной работы реакторной установки.

Решение

В легенде задания сказано, что объект управления обладает свойствами апериодического звена с характеристиками, указанными в условии задачи. Передаточная функция апериодического звена имеет вид:

$$W(s) = \frac{K}{TS + 1} = \frac{X_{\text{ВЫХ}}(S)}{X_{\text{ВХ}}(S)};$$

$$K \cdot X_{\text{ВХ}}(S) = X_{\text{ВЫХ}}(S) \cdot (TS + 1);$$

$$T \cdot S \cdot X_{\text{ВЫХ}}(S) + X_{\text{ВЫХ}}(S) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(S).$$

Учитывая, что S на области отображений соответствует d/dt , получим дифференциальное уравнение, а затем разностное:

$$T \frac{d}{dt} X_{\text{ВЫХ}}(t) + X_{\text{ВЫХ}}(t) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t);$$

$$X' = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{X_{\text{ВЫХ}}(t + \Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t)}{\Delta t};$$

$$T \left(\frac{X_{\text{ВЫХ}}(t + \Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t)}{\Delta t} \right) + X_{\text{ВЫХ}}(t) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t).$$

Получив разностное уравнение, принимаем во внимание, что $X_{\text{ВЫХ}}(0) = -15,6$ МПа, так как давление со стороны активной зоны реактора постоянно и равно 15,6 МПа.

При этом прикладываемое давление со стороны системы управления равно 18 МПа, и это входное воздействие постоянно для данной системы.

Учитывая, что диапазон безаварийной работы равен от 0,5 до 0,8 МПа, получаем что необходимо найти время за которое перепад давления в системе установится от $-15,6$ МПа до диапазона безаварийной работы системы. Принимая во внимание, что для разностного уравнения по условию задачи: $K = 1$, $T = 0,5$ с, а диапазон безаварийной работы равен от 0,5 до 0,8 МПа, получаем, что время вхождения системы в безаварийную работу 1,2 с, учетом использования диапазона безаварийной работы получаем диапазон ответа $\pm 0,2$ с.

Ответ: $1,2 \pm 0,2$ с.

Работа наставника НТО при подготовке к заключительному этапу

На этапе подготовки к заключительному этапу НТО наставник решает две важные задачи: помощь участникам в подготовке к предстоящим соревнованиям и формирование устойчивой и слаженной команды. Для подготовки рекомендуется использовать сборники задач прошлых лет. Кроме того, наставнику важно изучить организационные особенности заключительного этапа, чтобы помочь ученикам разобраться в формальных особенностях его проведения.

Наставник НТО также может познакомиться с разработчиками профилей для получения консультации о подготовке к заключительному этапу, дополнительных материалах и способах поддержки высокой мотивации участников.

При работе с командой участников рекомендуется уделить внимание следующим вопросам:

- Сплочение команды. Наставнику необходимо уделить этому особое внимание, если участники команды находятся в разных городах и не имеют возможности встретиться в очном формате. Регулярные встречи, в том числе в дистанционном формате, помогут поддержать эффективную и позитивную коммуникацию внутри команды.
- Анализ состава команды. Необходимо обсудить роли участников в команде и задачи, которые им предстоит решать в рамках выбранных ролей. Кроме того, нужно обсудить взаимозаменяемость ролей.
- Анализ знаний и компетенций участников. Необходимо убедиться, что участники обладают нужными навыками и компетенциями и продумать план по формированию и развитию недостающих навыков и компетенций.
- Составление плана подготовки. График занятий строится, исходя из даты начала заключительного этапа.
- Участие в подготовительных мероприятиях от разработчиков профилей. Перед заключительным этапом проводятся установочные вебинары, разборы задач прошлых лет, практикумы, хакатоны, мастер-классы для финалистов. Информация о таких мероприятиях публикуется в группе НТО в VK и в чатах профилей в Telegram.
- Проведение практикумов или хакатонов. Для этого наставники могут использовать материалы для подготовки к соответствующему профилю и сборники задач прошлых лет. Практикумы и хакатоны могут проводиться дистанционно, рекомендации для этого формата приведены в сборниках 2020–22 гг.

Во время заключительного этапа участников сопровождают модераторы или волонтеры, разработчики профиля и организаторы НТО. Внешнее вмешательство в ход соревнований запрещено. Участники, получившие во время проведения НТО стороннюю помощь, могут быть дисквалифицированы.

Заключительный этап

Предметный тур

Информатика и информационные технологии. 8–11 классы

Тестовые наборы для задач представлены по ссылке — <https://disk.yandex.ru/d/aoSiQ4Ri8QvvBg>.

Задача VI.1.1.1. Архивные данные (25 баллов)

Условие

Продолжая блуждать по рассекреченному архиву времен СССР, Лоти наткнулся на сейф, доступ к которому возможен только с помощью специального кода доступа. Прочитав журнал разработчиков, он понял, что код состоит из 250 символов и генерируется атомным замком совершенно случайно по следующему алгоритму:

1. Первые M символов кода выбираются из эксклюзивного набора символов, включающего цифры 0–7 и первые 8 букв секретного алфавита.
2. Следующие K символов формируются из расширенного набора из 32 символов, включающего символы первого этапа и дополненного следующими 16 буквами секретного алфавита.
3. Оставшиеся символы кода выбираются из 64 символов: набора второго этапа, дополненного 32 следующими буквами секретного алфавита.

Также в журнале содержался анализ безопасности сейфа. Было установлено, что энтропия сообщения «код состоит только из цифр» составляет ровно 500 бит. Узнав это, Лоти решил найти в нем потенциальные уязвимости и на стадии предварительного исследования определить, какие сочетания M и K могут подойти. Обратите внимание, что M и K могут принимать нулевое значение.

Помогите Лоти с этой задачей, в ответе укажите количество подходящих комбинаций неотрицательных чисел (M, K) .

Решение

Сообщение о том, что сгенерированный пароль состоит из одинаковых символов, несет в себе информацию, количество которой мы можем определить, используя формулу Шеннона для энтропии: $H = -\log 2(p)$, где p — вероятность события, что код состоит исключительно из цифр 0–7.

Поскольку сообщение несет 500 бит информации, мы можем выразить это как:

$$500 = -\log 2(p). \quad (\text{VI.1.1})$$

Вероятность того, что все символы в коде состоят из только из цифр, составляет:

$$p = \frac{825}{16^M \times 32^N \times 64^{25-M-N}}.$$

Подставив p в уравнение (VI.1.1), получим уравнение с 2 неизвестными, количество целых решений которого при ограничениях $M, N \geq 0$; $M + N \leq 25$ и будет ответом.

Ответ: 126.

Задача VI.1.1.2. Анализ скрижалей (15 баллов)

Условие

Лоти решил начать готовиться к олимпиадам по информатике как можно раньше, и в 300 году до нашей эры учитель решил дать ему задачу на анализ алгоритма.

Ниже записан алгоритм, который получает на вход числа x и y , после чего этот алгоритм печатает какое-то число (обозначенное, как G). Выясните, при каких x и y программа печатает наибольшее число. В ответе укажите минимальную сумму таких x и y .

```
int main(){
    int x, y;
    cin >> x >> y;
    int G = 1000000;
    while(x != y){
        if(x > y) x -= y;
        else y -= x;
    }
    while(x != G){
        if(x > G) x -= G;
        else G -= x;
    }
    cout << G;
    return 0;
}
```

Решение

Заметим, что в коде представлен алгоритм Евклида для поиска НОД (наибольшего общего делителя) двух чисел. Программа выводит 0, если $x = y$, иначе в ответе НОД(G , НОД(x, y)). Таким образом, ответом будут являться сумма двух чисел, НОД которых кратен G . Поскольку сумма требуется минимальная, то оба числа сделаем равными просто G , то есть 1000000.

Ответ: 2000000.

Задача VI.1.1.3. Монеты (15 баллов)

Имя входного файла: стандартный ввод или `input.txt`.

Имя выходного файла: стандартный вывод или `output.txt`.

Ограничение по времени выполнения программы: 1 с.

Ограничение по памяти: 64 Мбайт.

Условие

В Ядербурге совсем не боятся большого количества ядерных реакторов, но очень переживают за удобство новой валюты. Всего в Ядербурге действует два вида монет: монеты номиналом 1 и монеты номиналом n .

Вам поручили проверить качество этой валюты. Для того чтобы сделать это, необходимо определить, можно ли заплатить сумму S без сдачи, если имеется всего x монет номиналом n и y монет номиналом 1.

Формат входных данных

В первой и единственной строке ввода находится четыре числа: x, y, n, S . ($1 \leq x, y, n, S \leq 10^9$).

Формат выходных данных

Выведите минимальное количество купюр, если вы можете отдать сумму S без сдачи, иначе выведите NO.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
3, 4, 3, 10
Стандартный вывод
4

Решение

Задача решается в пару шагов. Для начала нам очевидно нужно взять хотя бы $S \% n$ монет номиналом 1. Если мы не можем этого сделать, то ответ NO. Иначе мы всегда можем получить необходимую сумму S , если $x \cdot n + y \geq S$.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке C++.

```

1  #include <iostream>
2  using namespace std;
3
4  int main() {
5      int x, y, n, S;
6      cin >> x >> y >> n >> S;
7      int ones = S % n;
8      if (ones > y || x * n + y < S) {
9          cout << "NO" << endl;
10     } else {
11         int ncoins = (S - ones) / n;
12         cout << ncoins + ones << endl;
13     }
14     return 0;
15 }

```

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1  x, y, n, S = map(int, input().split())
2
3  ones = S % n
4  if ones > y or x * n + y < S:
5      print("NO")
6  else:
7      ncoins = (S - ones) // n
8      print(ncoins + ones)

```

Задача VI.1.1.4. Молекула (20 баллов)

Имя входного файла: стандартный ввод или `input.txt`.

Имя выходного файла: стандартный вывод или `output.txt`.

Ограничение по времени выполнения программы: 1 с.

Ограничение по памяти: 64 Мбайт.

Условие

Однажды профессор Шредингер исследовал недавно открытый вид молекул-графов. Пытаясь понять их строение, он заметил симметрию.

Он определил, что молекула-граф построена следующим образом:

- Изначально в молекуле один-единственный атом.
- Далее в молекулу добавляются еще другие атомы. Исходный атом соединяется с еще k новыми атомами ($k > 1$).
- Каждый из атомов, соединенный только с одним другим атомом, соединяется с еще k новыми атомами. Этот шаг нужно выполнить хотя бы один раз.

Шредингер просит помочь определить, может ли граф-молекула состоять из n атомов, и если может, то вывести минимальное значение k .

Формат входных данных

В единственной строке ввода содержится только число n ($1 \leq n \leq 10^9$).

Формат выходных данных

Выведите минимальное значение k — если существует граф-молекула, состоящая из n атомов, иначе выведите NO.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
21
Стандартный вывод
4

Решение

Во-первых, легко увидеть из условия, что граф-молекула может состоять минимум из 7 атомов.

Заметим, что если молекула-граф может состоять из n атомов, то существует $p > 1$ такое, что выполняется: $1 + k + \dots + k^p = n$, следовательно, k является делителем числа $n - 1$. Используя теорему о симметричном расположении делителей относительно корня числа, переберем их за $O(\sqrt{n})$. И для каждого их делителей перебором проверим существование такого $p > 1$, что выполняется нужное равенство.

Асимптотика итогового решения $O(\sqrt{n} \cdot \log(n))$.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке C++.

```

1  #include <iostream>
2  #include <cmath>
3  using namespace std;
4
5  bool check(int n, int k) {
6      int sum = 1, p = 1;
7      while (sum < n) {
8          sum += pow(k, p);
9          p++;
10     }
11     return sum == n;
12 }
13
14 int main() {
15     int n;
16     cin >> n;
17
18     int sq = sqrt(n - 1);
19     for (int k = 2; k <= sq; k++) {
20         if ((n - 1) % k == 0) {
21             if (check(n, k) || check(n, (n - 1) / k)) {
22                 cout << min(k, (n - 1) / k) << endl;

```

```

23         return 0;
24     }
25 }
26
27
28     cout << "No" << endl;
29     return 0;
30 }

```

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1  from math import sqrt
2
3  def check(n, k):
4      sum = 1
5      p = 1
6      while sum < n:
7          sum += k ** p
8          p += 1
9      return sum == n
10
11  n = int(input())
12
13  sq = int(sqrt(n - 1))
14  for k in range(2, sq + 1):
15      if (n - 1) % k == 0:
16          if check(n, k) or check(n, (n - 1) // k):
17              print(min(k, (n - 1) // k))
18              exit(0)
19
20  print("No")

```

Задача VI.1.1.5. Атомная прогулка (25 баллов)

Имя входного файла: стандартный ввод или `input.txt`.

Имя выходного файла: стандартный вывод или `output.txt`.

Ограничение по времени выполнения программы: 1 с.

Ограничение по памяти: 64 Мбайт.

Условие

В первый день стажировки в ядерном исследовательском центре стажеру поручено осмотреть ядерный реактор. Структура реактора представляет собой матрицу M размером $A \times B$, состоящую из A горизонтальных рядов и B вертикальных столбцов. Каждая ячейка этой матрицы, обозначаемая как $M_{i,j}$ (на пересечении i -го ряда и j -го столбца), содержит компоненту реактора: либо «А» (*обозначающий компонент А-100*), либо «В» (*обозначающий компонент В-100*).

Для минимизации риска радиационного облучения во время стажировки стажеру рекомендовано следовать строгому протоколу безопасности, который включает в себя:

- Ограничение перемещения — *относительно наблюдателя сверху* — только вправо (из ячейки $M_{i,j}$ в ячейку $M_{i,j+1}$) или вниз (из ячейки $M_{i,j}$ в ячейку $M_{i+1,j}$).

Такое ограничение обусловлено спецификой распределения радиационных полей внутри реактора, где движение вверх или влево может увеличить время пребывания в зонах с повышенным уровнем излучения.

- Ограничение на посещение $B-100$ с уровнем доступа стажера.

Таким образом, если стажер достигнете ячейки, где нет доступных для посещения $A-100$, то его осмотр заканчивается.

Стажер запросил карту реактора у руководителя и теперь хочет узнать максимальное количество компонент типа $A-100$, которые он сможет посетить, изначально находясь в компоненте, соответствующей ячейке матрицы $(1, 1)$.

Формат входных данных

Первая строка входных данных содержит два целых числа A и B , разделенных пробелом, обозначающих количество горизонтальных рядов и вертикальных столбцов матрицы реактора соответственно ($1 \leq A, B \leq 100$).

Следующие A строк содержат описания рядов матрицы. Каждая из этих строк содержит ряд из B символов без пробелов. Каждый символ — это либо «А», обозначающий компонент $A-100$, либо «В», обозначающий компонент $B-100$, соответствующие ячейкам матрицы $M_{i,j}$, где i — номер ряда, а j — номер столбца.

Формат выходных данных

Выведите число — максимальное количество компонентов типа $A-100$, которые сможет осмотреть стажер, если он начинает свой путь из компоненты на пересечении первой строки и первого столбца.

Примеры

Пример №1

Стандартный ввод
3 5
AAABA
ABAAB
ABABV
Стандартный вывод
5

Пример №2

Стандартный ввод
1 1
A
Стандартный вывод
1

Пример №3

Стандартный ввод
5 5 AAAAA AAAAA AAAAA AAAAA AAAAA
Стандартный вывод
9

Примечание: ячейки матрицы состоят из символов латинского алфавита.

Решение

Задача решается двумерным динамическим программированием с конца по следующей формуле

$$dp[i][j] = \max(dp[i+1][j], dp[i][j]) + 1,$$

где $dp[i][j]$ максимальное число компонент, которые можно посетить, если начать с расположенной в (i, j) компоненты $dp[i][j] = 0$, если в (i, j) находится *B-100*.

Ответ будет лежать в $dp[0][0]$.

Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке C++.

```

1  #include <iostream>
2  #include <vector>
3  #include <algorithm>
4  using namespace std;
5
6  int main() {
7      int A, B;
8      cin >> A >> B;
9
10     vector<vector<int>> dp(A + 1, vector<int>(B + 1, 0));
11
12     for (int i = A - 1; i >= 0; i--) {
13         for (int j = B - 1; j >= 0; j--) {
14             char component;
15             cin >> component;
16
17             if (component == 'A') {
18                 dp[i][j] = max(dp[i + 1][j], dp[i][j + 1]) + 1;
19             }
20         }
21     }
22
23     cout << dp[0][0] << endl;
24
25     return 0;
26 }
```

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```
1 A, B = map(int, input().split())
2
3 dp = [[0] * (B + 1) for _ in range(A + 1)]
4
5 for i in range(A - 1, -1, -1):
6     row = input()
7     for j in range(B - 1, -1, -1):
8         component = row[j]
9
10        if component == 'A':
11            dp[i][j] = max(dp[i + 1][j], dp[i][j + 1]) + 1
12
13 print(dp[0][0])
```

Физика. 8–9 классы

Задача VI.1.2.1. Обогрев (15 баллов)

Темы: соединение проводников, закон Джоуля – Ленца.

Условие

Отопление помещения обеспечивается двумя системами: электрическим теплым полом и тремя электроконвекторами, размещенными под окнами для компенсации тепловых потерь вблизи них. Номинальная мощность теплого пола при подключении к электросети, используемой в этом помещении, $P_1 = 5$ кВт. Номинальная мощность каждого из конвекторов при подключении к этой сети $P_2 = 6$ кВт. Какова общая мощность отопительной системы, если конвекторы соединены между собой последовательно, а теплый пол подключен к ним параллельно.

Критерии оценивания

По меньшей мере один раз верно записан закон Джоуля – Ленца.	4 балла
Верно записана формула для эквивалентного сопротивления, либо верно использованы эквивалентные рассуждения о совокупной мощности последовательно соединенных проводников, например через связь токов и напряжений при таком соединении.	3 балла
То же для параллельного соединения.	3 балла
Получен правильный ответ.	5 баллов
Всего	15 баллов

Решение

В любой сети поддерживается некоторое, не зависящее от нагрузки, напряжение U . В таких условиях номинальная тепловая мощность прибора выражается как

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Отсюда сопротивления R_1 теплого пола и R_2 конвекторов равны

$$\begin{aligned} R_1 &= U^2 / P_1, \\ R_2 &= U^2 / P_2. \end{aligned}$$

Общее сопротивление R цепи, описанной в условиях задачи, задается выражениями для последовательного и параллельного подключения:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{3R_2} = \frac{P_1}{U^2} + \frac{P_2}{3U^2} = \frac{3P_1 + P_2}{3U^2}.$$

Снова применяя закон Джоуля – Ленца в форме для заданного напряжения, получим

$$P = U^2 \frac{1}{R} = \frac{3P_1 + P_2}{3}.$$

Ответ: $P = \frac{3P_1 + P_2}{3} = 7 \text{ кВт.}$

Задача VI.1.2.2. Вентиляция (20 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

В лаборатории с размерами $5 \times 4 \times 3 \text{ м}$ установлен лазерный резак, побочным эффектом работы которого является производство мелких пылевых частиц. Известно, что чтобы снизить концентрацию взвешенных частиц в помещении вдвое, необходимо прогнать через систему вентиляции объем воздуха, равный объему помещения. Определите, в течение какого времени должна работать вытяжка с площадью трубы $S = 500 \text{ см}^2$ и скоростью потока воздуха в ней $v = 10 \text{ м/с}$, чтобы снизить концентрацию вредных частиц в 1024 раза? Считайте, что сжатие воздуха в трубе вытяжки пренебрежимо мало.

Критерии оценивания

Найдено число раз, которое объем воздуха, равный объему помещения должен пройти через вытяжку (или явно найден общий объем этого воздуха).	5 баллов
Найдена взаимосвязь между скоростью протекания воздуха в вытяжке, площадью ее сечения и объемным расходом системы вентиляции.	8 балла
Получен правильный ответ.	7 баллов
Всего	20 баллов

Решение

Прежде всего отметим, что поскольку $1024 = 2^{10}$, объем помещения V должен пройти через вытяжку 10 раз. Затем заметим, что за некоторое время t при скорости течения v воздух в вытяжке успевает пройти путь $l = vt$. Следовательно, через вытяжку проходит объем

$$V_1 = lS = vSt.$$

Тогда общее время может быть легко найдено из соотношения

$$vSt = V_1 = 10V.$$

Окончательно,

$$t = \frac{10V}{Sv} \approx 20 \text{ мин.}$$

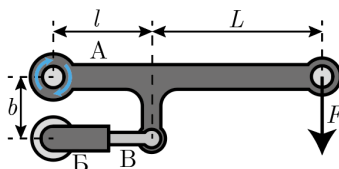
Ответ: $t = \frac{10V}{Sv} \approx 20 \text{ мин.}$

Задача VI.1.2.3. Подъемный кран (20 баллов)

Темы: статика, динамика, рычаг.

Условие

Подъемный кран массы $M = 35$ т имеет форму и пропорции, изображенные на рисунке. Черной точкой отмечен центр масс крана без учета поднимаемого им груза. Определите, груз какой максимальной массы кран может поднимать с постоянным ускорением $a = 2 \text{ м/с}^2$, чтобы его основание не начало отрываться от земли? Считайте ускорение свободного падения $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$.



Критерии оценивания

Верно записано правило рычага (уравнение моментов) относительно удобной для этого точки, либо эквивалентная ему система.	8 баллов
Верно записан второй закон Ньютона для груза.	6 балла
Получен правильный ответ.	6 баллов
Всего	20 баллов

Решение

Если кран начнет опрокидываться, его вращение произойдет вокруг правого нижнего угла платформы основания. Относительно этой точки сила тяжести, действующая на сам кран, имеет плечо $l/2$, а вес P груза — плечо $2.5l$. Тогда правило рычага, определяющее равновесие крана, имеет вид

$$Mgl/2 = 2,5Pl.$$

Поскольку груз поднимается с постоянным ускорением, второй закон Ньютона для него имеет вид

$$P - mg = ma,$$

откуда выразим $P = m(g + a)$ и получим условие равновесия в форме

$$Mgl/2 = 2,5m(g + a)l.$$

Отсюда окончательно

$$m = \frac{Mg}{5(g + a)} \approx 5,8 \text{ т.}$$

Ответ: $m = \frac{Mg}{5(g + a)} \approx 5,8 \text{ т.}$

Задача VI.1.2.4. Цемент (20 баллов)

Темы: термодинамика, уравнение теплового баланса.

Условие

Для приготовления строительного раствора необходимо смешать $m_1 = 60$ кг сухой смеси с удельной теплоемкостью $c_1 = 600$ Дж/(кг·К) и $m_2 = 20$ кг воды с удельной теплоемкостью $c_2 = 4200$ Дж/(кг·К). Затем смесь должна застывать при строго определенной технологическими требованиями температуре θ . В первый раз строители взяли сухую смесь при комнатной температуре $t_1 = 25^\circ\text{C}$ и определили, что для того, чтобы получить раствор с необходимой температурой, необходимо развести ее водой при температуре $t_2 = 85^\circ\text{C}$. Во второй раз была использована сухая смесь, хранившаяся на неотапливаемом складе зимой. Определите, какой была температура на этом складе если для соблюдения технологии смесь пришлось разбавить крутым кипятком? Тепловыделение и изменение теплоемкости при смешивании компонент раствора считать пренебрежимым.

Критерии оценивания

Продemonстрировано понимание того, что температура крутого кипятка равна 100°C .	3 балла
Продemonстрировано понимание того, что температура на складе равна температуре смеси.	2 балла
Верно записано хотя бы одно уравнение теплового баланса.	7 баллов
Получен правильный ответ.	8 баллов
Всего	20 баллов

Решение

Запишем уравнение теплового баланса, связывающее температуры компонент раствора до и после смешивания в первом случае:

$$m_1 c_1 (\theta - t_1) = m_2 c_2 (t_2 - \theta).$$

Перегруппировав слагаемые, легко получить

$$m_2 c_2 t_2 + m_1 c_1 t_1 = \theta (m_1 c_1 + m_2 c_2).$$

Правая часть этого равенства не зависит от переменных температур, поэтому для первого и второго смешивания одинакова. Это позволяет приравнять и левые части, соответствующие этим процессам:

$$m_2 c_2 t_2 + m_1 c_1 t_1 = m_2 c_2 t_{\text{к}} + m_1 c_1 t_x,$$

где введены обозначения $t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$ — температура кипятка, t_x — температура холодной смеси. Последняя, разумеется, равна температуре искомой температуре на складе, поскольку смесь находилась с ним в тепловом равновесии.

Отсюда выразим окончательно

$$t_x = \frac{m_2 c_2 (t_2 - t_{\text{к}})}{m_1 c_1} + t_1 = -10^\circ\text{C}.$$

Ответ: $t_x = \frac{m_2 c_2 (t_2 - t_{\text{к}})}{m_1 c_1} + t_1 = -10^\circ\text{C}.$

Задача VI.1.2.5. Труба (25 баллов)

Темы: гидростатика, давление.

Условие

Трубопровод в небоскребе имеет форму, изображенную на рисунке. В его вершине имеется отверстие, сообщающееся с атмосферой. Нижний сегмент трубы имеет площадь поперечного сечения S и высоту $h = 50$ м, верхний сегмент — площадь поперечного сечения $S/2$ и высоту $2h$. В некоторый момент труба была заполнена ровно до середины верхнего сегмента водой при температуре $t_0 = 4^\circ\text{C}$. Используя таблицу плотности ρ воды, определите, на какую величину Δp вырастет гидростатическое давление у нижнего торца трубы если температура воды будет поднята до $t = 66^\circ\text{C}$. Считайте ускорение свободного падения $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$.



$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
0	999,9	24	997,3	60	983,2
4	1000,0	30	995,7	66	980,0
8	999,9	36	993,7	72	976,6
12	999,5	42	991,5	80	971,8
16	999,0	48	989,0	90	965,3
20	998,2	54	986,2	100	958,4

Критерии оценивания

Правильно найдены относящиеся к задаче значения плотности в таблице.	3 балла
По меньшей мере один раз верно записано выражение для объема воды в трубе либо его изменения (либо сразу для изменения высоты водяного столба).	7 баллов
По меньшей мере один раз верно записано выражение для гидростатического давления.	6 баллов
Получен правильный ответ.	9 баллов
Всего	25 баллов

Решение

Объем воды, находящейся в трубе при температуре t_0 , равен

$$V_0 = 2Sh + Sh = 3Sh.$$

При нагревании воды ее масса не меняется. Она может быть найдена как

$$m = \rho_0 V_0 = \rho V,$$

где ρ_0, ρ — плотности воды при температурах t_0 и t соответственно.

Отсюда найдем, что объем воды вырос на величину

$$\Delta V = V - V_0 = V_0 \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} = 3Sh \frac{\rho_0 - \rho}{\rho},$$

а высота ее столба — на высоту

$$\Delta h = \Delta V / S = 3h \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}.$$

Используя теперь формулу гидростатического давления, найдем начальное давление столба воды как

$$p_0 = 2\rho_0 gh,$$

а конечное — как

$$p = \rho g(2h + \Delta h) = 2\rho gh + 3gh(\rho_0 - \rho).$$

Отсюда приращение давления

$$\Delta p = p - p_0 = 2gh(\rho - \rho_0) + 3gh(\rho_0 - \rho) = (\rho_0 - \rho)gh.$$

Ответ: $\Delta p = (\rho_0 - \rho)gh \approx 9,8 \text{ кПа}$.

Физика. 10–11 классы**Задача VI.1.3.1. Микроклимат (12 баллов)**

Темы: газовые законы, влажность.

Условие

В помещении с объемом $V = 90 \text{ м}^3$ установлена система поддержания комфортного микроклимата, состоящая из термометра, гигрометра, обогревателя и увлажнителя воздуха. Система настроена на целевые показатели температуры $t = 20^\circ \text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 50\%$. Используя таблицу давления p и плотности ρ насыщенных водяных паров, вычислите массу воды, которую необходимо испарить, чтобы достичь этих показателей, если в момент запуска системы была измерена температура $t_0 = 0^\circ \text{C}$ и относительная влажность $\varphi_0 = 20\%$.

$t, ^\circ \text{C}$	$p, \text{ кПа}$	$\rho, \text{ г/м}^3$	$t, ^\circ \text{C}$	$p, \text{ кПа}$	$\rho, \text{ г/м}^3$
0	0,611	4,84	20	2,34	17,3
5	0,872	6,84	25	3,17	23,0
10	1,23	9,40	30	4,24	30,3
15	1,70	12,8	40	7,37	51,2

Критерии оценивания

Правильно найдены относящиеся к задаче значения плотности насыщенных паров в таблице.	2 балла
Верно записано определение относительной влажности или эквивалентная ему формула.	5 баллов
Получен правильный ответ.	5 баллов
Всего	12 баллов

Решение

Масса воды, содержащейся в воздухе при температуре t и относительной влажности φ , определяется выражением

$$m = \varphi \rho(t) V,$$

где $\rho(t)$ — плотность насыщенных паров при соответствующей температуре. Поскольку данные для обеих необходимые в задаче температур непосредственно содержатся в таблице, остается только найти массы воды в воздухе в начальных и конечных условиях и вычислить их разность:

$$\Delta m = V(\varphi \rho(t) - \varphi_0 \rho(t_0)) \approx 691 \text{ г.}$$

Ответ: $\Delta m = V(\varphi \rho(t) - \varphi_0 \rho(t_0)) \approx 691 \text{ г.}$

Задача VI.1.3.2. Снеговая нагрузка (15 баллов)

Темы: статика, вес.

Условие

Дом имеет симметричную двускатную крышу, скаты которой сходятся под прямым углом. Верхняя точка крыши находится на $h = 4$ м выше нижней, а длина конька (верхней грани) крыши $l = 10$ м. Осенней ночью, в безветренную погоду пошел первый снег, и к утру на ровном крыльце перед домом образовался равномерный слой снега толщиной $d = 4$ см и плотностью $\rho = 300 \text{ кг/м}^3$. Найдите общий вес снега, действующий на крышу к этому моменту, если снег не сходил с крыши и не таял. Считайте ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Критерии оценивания

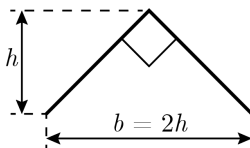
Продемонстрировано понимание того, что снег падает вертикально вниз, и толщина его слоя вдоль вертикальной оси одинакова для горизонтальной и наклонной поверхностей.	5 баллов
Верно найдена площадь горизонтальной проекции крыши и /или объем снежного слоя.	5 баллов
Получен правильный ответ.	5 баллов
Всего	15 баллов

Решение

Поскольку погода безветренная, снег падает вертикально вниз, а значит, количество снега, осевшего на крыше, определяется площадью горизонтальной проекции этой крыши. Из рисунка несложно видеть, что короткая сторона этой проекции b в 2 раза больше высоты крыши h , а длинная, как известно из условий, равна l . Таким образом, общая площадь проекции, на которую выпадает снег

$$S = 2hl,$$

а высота и плотность слоя снега не зависит от геометрии крыши.



Вес снега легко найти как произведение его массы на ускорение свободного падения:

$$P = mg = \rho Vg = \rho Sdg = 2\rho hldg.$$

Ответ: $P = 2\rho hldg \approx 9,4 \text{ кН}$.

Задача VI.1.3.3. Обогрев (20 баллов)

Темы: соединение проводников, закон Джоуля – Ленца.

Условие

Отопление помещения обеспечивается двумя системами: электрическим теплым полом и тремя электроконвекторами, размещенными под окнами для компенсации тепловых потерь вблизи них. При этом конвекторы соединены между собой последовательно, а теплый пол параллельно к ним подключен к той же электросети. Номинальная мощность теплого пола при включении в эту сеть $P_1 = 6 \text{ кВт}$. Какова номинальная мощность при включении в ту же сеть одного конвектора, если при включении и теплого пола, и конвекторов одновременно прогрев комнаты до комфортной температуры происходит за вдвое меньшее время, чем при включении только теплого пола?

Критерии оценивания

Хотя бы один раз верно записан закон Джоуля – Ленца.	5 баллов
При помощи формул для эквивалентного сопротивления или рассуждений о равенстве токов и сложении напряжений показано, как связано номинальное сопротивление одного конвектора и нескольких, соединенных последовательно.	5 баллов
То же для параллельно соединенных нагревателей.	5 баллов
Получен правильный ответ.	5 баллов
Всего	20 баллов

Решение

В любой сети поддерживается некоторое, не зависящее от нагрузки, напряжение U . В таких условиях номинальная тепловая мощность прибора выражается как

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Отсюда сопротивление R_2 конвектора связано с его номинальной мощностью P_2 соотношением

$$R_2 = U^2/P_2.$$

Общее сопротивление R конвекторов определяется как сумма сопротивлений каждого из них (поскольку они подключены последовательно):

$$R = 3R_2 = \frac{3U^2}{P_2}.$$

Снова применяя закон Джоуля – Ленца в форме для заданного напряжения, получим, что общая мощность конвекторов P равна

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{P_2}{3}.$$

При параллельном соединении нагревателей их общая мощность равна сумме их мощностей (это также можно показать, либо понять напрямую из равенства напряжений на параллельно соединенных элементах цепи). Поскольку прогрев двумя системами происходит ровно вдвое быстрее, чем одной, мы можем судить, что их мощности по отдельности равны:

$$P_1 = P = P_2/3.$$

Отсюда окончательно

$$P_2 = 3P_1 = 18 \text{ кВт}.$$

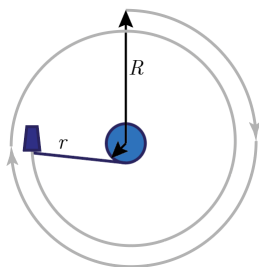
Ответ: $P_2 = 3P_1 = 18 \text{ кВт}.$

Задача VI.1.3.4. Запутался (28 баллов)

Темы: кинематика движения по окружности.

Условие

Наблюдательный робот должен двигаться по окружности радиуса $R = 50 \text{ м}$ вокруг вкопанного в землю цилиндрического столба радиуса $r = 50 \text{ см}$. Но из-за проблем с подвозом аккумуляторов робот был подключен к установленному в столбе источнику питания тонким прочным проводом длиной $R - r$. Стартовав по запланированной окружности, робот начал наматывать провод на столб и двигаться по спирали, постепенно приближаясь к столбу. Оцените путь S , который пройдет робот прежде, чем полностью намотает провод на столб.



Критерии оценивания

Найдено число витков, которые сможет сделать робот.	8 баллов
Найден средний радиус витка, либо применена формула суммы арифметической прогрессии, использован метод «площади под графиком» (определенного интеграла) или другим способом корректно учтено изменение радиуса спирали.	12 баллов
Явно показана необходимость учета изменения радиуса из прошлого пункта, но при попытке ее учета допущена ошибка	6 баллов
Получен правильный ответ.	8 баллов
Всего	28 баллов

Решение

Делая один полный виток, робот укорачивает доступный ему провод на $\Delta R = 2\pi r$. Таким образом, общее число n витков, которое сможет сделать робот вокруг столба, равно

$$n = \frac{R - r}{\Delta R} = \frac{R - r}{2\pi r}.$$

Поскольку $r \ll R$, будем считать, что путь S_i на i -ом витке может быть найден по формуле длины окружности $S_i = 2\pi R_i$, а радиус R_i такого витка монотонно убывает от R до r . В результате получим выражение для среднего радиуса витка:

$$R_{\text{ср}} = \frac{R + r}{2}$$

и для общего пути

$$S = n2\pi R_{\text{ср}} = \frac{R - r}{2\pi r} 2\pi \frac{R + r}{2} = \frac{R^2 - r^2}{2r}.$$

Ответ: $S = \frac{R^2 - r^2}{2r} \approx 2,5$ км. Допустимая погрешность 0,1 км.

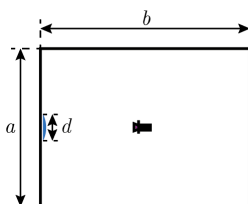
Указание: задача имеет более строгое, но сильно не школьное решение с использованием криволинейных интегралов и учетом того, что реальная траектория робота представляет собой архимедову спираль с коэффициентом наклона r . Точный ответ в данном случае равен 2452 м.

Задача VI.1.3.5. Наблюдение (25 баллов)

Темы: геометрическая оптика.

Условие

В комнате, геометрические параметры которой изображены на рисунке, ровно в центре стены с длиной $a = 6$ м, висит выпуклое зеркало в круглой оправе диаметра $d = 10$ см. Каким может быть максимальный радиус R кривизны поверхности этого зеркала, чтобы в поле зрения камеры, установленной ровно в центре комнаты, попадали оба угла задней стены? Зеркало можно считать точечным по сравнению с размерами комнаты. Камера установлена на одной высоте с зеркалом, угол стены считается попадающим в поле зрения, если в поле зрения попадает хотя бы одна точка его вертикального ребра.



Критерии оценивания

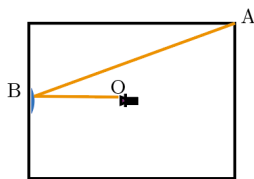
Найдена связь угла падения луча на зеркало с геометрией комнаты.	6 баллов
Найдена связь угла отражения луча от зеркала с геометрией зеркала.	6 баллов
Верно использован закон отражения.	5 баллов
Получен правильный ответ.	8 баллов
Всего	25 баллов

Решение

Условие точечности зеркала означает, что мы можем считать любой луч, отраженный от зеркала, и попавший в камеру, идущим (после отражения) перпендикулярно стене, на которой висит зеркало, а расстояние от любой точки зеркала до ближайшего угла равным $a/2$. Тогда из тригонометрии

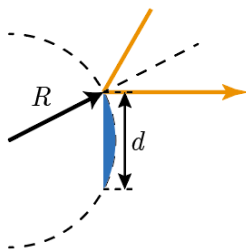
$$\angle OBA = \arctg\left(\frac{a}{2b}\right) = \arctg\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) = 30^\circ.$$

Этот угол вдвое больше угла α отражения луча от зеркала, который может быть найден как $\alpha = \arctg(d/(2R))$ (как видно из второго рисунка).



Таким образом,

$$\frac{d}{2R} = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \angle \frac{OBA}{2} = \operatorname{tg}(15^\circ)$$



Откуда окончательно выразим R :

$$R = \frac{d}{2} \operatorname{ctg}(15^\circ) \approx 19 \text{ см.}$$

Ответ: $R = \frac{d}{2} \operatorname{ctg}(15^\circ) \approx 19 \text{ см.}$

Инженерный тур

Общая информация

Одним из важных компонент ядерного реактора является главный циркуляционный насос (ГЦН). Стоимость ГЦН составляет значительную долю от общей стоимости всей ядерной установки. Его назначение — подача теплоносителя в реакторную установку. Задача инженерного тура предполагает проектирование и реализацию цифровой модели системы управления поддержания перепада давления на уплотнениях ГЦН. На полученной цифровой модели необходимо провести исследования объекта управления.

Сюжет задачи

В ядерном реакторе, а также в других технических системах и оборудовании атомной станции, происходят различные физические явления и процессы, требующие мониторинга и контроля каждого из этих процессов. При эксплуатации реактора имеется необходимость постоянно поддерживать физические параметры в заданных диапазонах. Для этих целей используют функции автоматического регулирования.

Независимо от характеристик ядерных установок одним из наиболее важных компонент ядерного реактора является главный циркуляционный насос (ГЦН), функция которого заключается в подаче теплоносителя в реакторную установку.

Давление в первом контуре систем ВВЭР-1000 для работы в нормальных условиях имеет расчетное значение 16,5 МПа. Для поддержания этого значения главный циркуляционный насос постоянно снабжает реактор объемом теплоносителя 20000 м³/ч с рабочим давлением в интервале от 15,5 до 16,5 МПа. ГЦН работает вместе с компенсатором давления и дополнительными системами (электронагреватели и клапаны), которые поддерживают рабочее давление, необходимое для реактора.

Условия эксплуатации ГЦН должны быть постоянными и стабильными, поскольку безопасность и защита активной зоны реактора зависят от величины потока теплоносителя, который забирает тепло из активной зоны реактора. По этой причине ГЦН должен быть рассчитан на эксплуатацию в течение длительных периодов времени без необходимости технического обслуживания вне плана обслуживания, установленного для реактора.

Поэтому количество этих устройств (ГЦН) в реакторных установках сводится к минимуму из-за сложности установки их компонентов и экономического эффекта от их обслуживания. Принимая во внимание рабочие характеристики, требуемые для энергоблоков ВВЭР-1000, необходимо выбрать тип насоса, который гарантирует постоянную подачу теплоносителя с минимальными и контролируемыми утечками через вал в течение длительных периодов работы. Это условие необходимо для соблюдения требований безопасности.

В командной задаче предлагается:

1. Подготовить цифровую модель системы управления поддержания перепада давления на уплотнениях ГЦН.
2. Реализовать цифровую модель в специализированном программном обеспечении.
3. Разработать графический информационно-управляющий интерфейс.
4. Реализовать систему автоматического регулирования перепада давления на ГЦН.
5. Провести исследования объекта управления при помощи полученного цифрового тренажера системы управления.

Требования к команде и компетенциям участников

Количество участников в команде: 3–4 человека.

Компетенции, которыми должны обладать члены команды:

- математик: математическое обеспечение разработки;
- программист: программная реализация цифровой модели;
- инженер-физик: знание основ физики ядерных реакторов, умение ориентироваться в составе оборудования АЭС, разработка технологической схемы.

Потребуется также и совместное участие в решении таких задач, как:

- создание графического интерфейса модели,
- проведение модельных экспериментов,
- представление результатов работы.

Оборудование и программное обеспечение

Наименование	Описание
Ядро реального времени для ОС Windows MWBridge	Универсальный инструмент создания и поддержки АСУ ТП, в том числе распределенных. Особое внимание уделено повышению надежности и безопасности АСУ ТП, что обеспечивает возможность применения на ответственных и опасных производствах. Это достигается высоким уровнем детерминированности благодаря строгой цикличности и векторной обработке данных, а также графическому и табличному программированию и настройке всех компонентов, которые могут осуществляться одновременно с наладкой на работающей системе.

Наименование	Описание
Система отображения Display	Программа предназначена для графического отображения технологических параметров, сигнальной и иной информации, осуществления контроля и управления ими. Программа включает в себя следующие функциональные системы: • графическое ядро; • редактор мнемосхем и настроек. Графическое ядро реализует функции отрисовки элементов отображения и мнемосхем. Графическое ядро работает, используя аппаратное ускорение посредством библиотеки OpenGL. Редактор мнемосхем позволяет оператору осуществлять изменение вида и состава отображаемой информации и предоставляет следующие функции: • создание, изменение, копирование и удаление мнемосхем; • импорт мнемосхем из других проектов; • создание, изменение и удаление элементов отображения на мнемосхеме; • редактирование параметров привязки свойств элемента отображения к технологическим параметрам.

Описание задачи

Введение

В ядерном реакторе, а также других технических системах и оборудовании атомной станции, происходят различные физические явления и процессы, требующие мониторинга и контроля каждого из них. При эксплуатации реактора имеется необходимость постоянно поддерживать физические параметры в заданных диапазонах. Для этих целей используют функции автоматического регулирования. Обычно на атомных электростанциях есть два-три полностью дифференцированных контура.

Первичный контур. Этот полностью замкнутый контур, содержит основные элементы атомных электростанций, реактор с его топливными элементами и управляющими стержнями, парогенераторы, главный циркуляционный насос и другие, которые зависят от типа реактора.

Вторичный контур. В этом замкнутом контуре находятся турбины, которые вращают электрический генератор.

Вода во вторичном контуре поступает в парогенератор, где она нагревается и испаряется, не вступая в контакт с водой в первичном контуре. Генерируемый пар направляется в турбины, где тепловая энергия пара преобразуется в механическую энергию, затем пар направляется в конденсатор, где он охлаждается и конденсируется для возврата в парогенератор, начиная цикл заново.

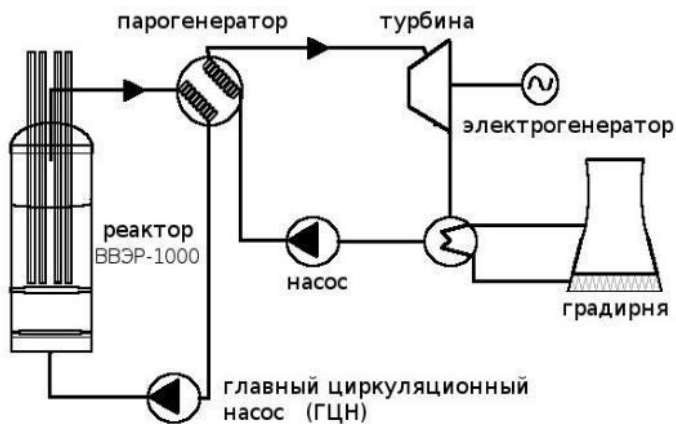


Рис. VI.2.1. Функциональная схема наиболее важных блоков в технологических контурах АЭС

Третичный контур. Это открытый контур, вода выбирается из источника (река или водохранилище и т. д.) перекачивается в систему водоочистки и используется в системе вторичного контура.

ГЦН в первом контуре реакторов ВВЭР-1000

Независимо от характеристик ядерных установок одним из наиболее важных компонент ядерного реактора является главный циркуляционный насос (ГЦН), экономическая стоимость которого составляет значительную долю от общей стоимости всей ядерной установки. Функция главного циркуляционного насоса заключается в подаче теплоносителя в реакторную установку.

ГЦН → реактор → парогенератор → ГЦН...

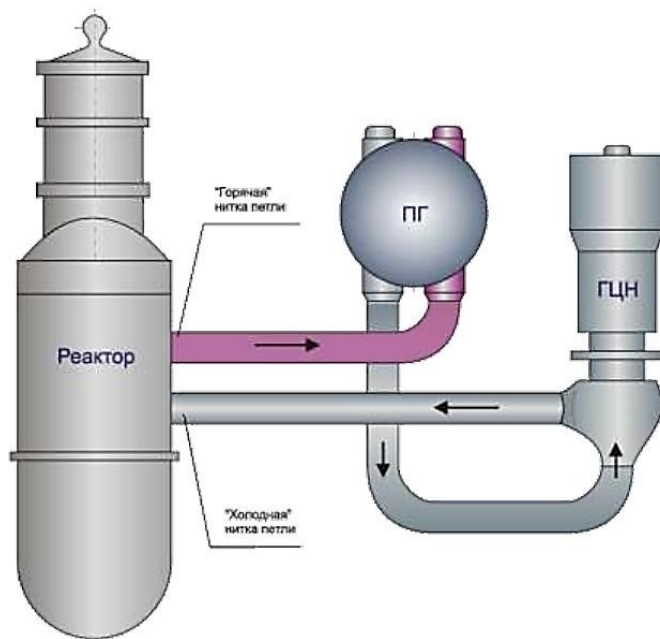


Рис. VI.2.2. Первый (главный) циркуляционный контур ВВЭР-1000

Давление в первом контуре систем ВВЭР-1000 для работы в нормальных условиях имеет расчетное значение 16,5 МПа. Для поддержания его значения главный циркуляционный насос постоянно снабжает реактор объемом теплоносителя 20000 м³/ч с рабочим давлением в интервале от 15,5 до 16,5 МПа. ГЦН работает вместе с компенсатором давления и дополнительными системами (электронагреватели и клапаны), которые поддерживают рабочее давление, необходимое для реактора.

Для нормальной эксплуатации ВВЭР-1000 должна быть осуществлена циркуляция теплоносителя через его активную зону, где высокая температура поддерживается из-за выделения энергии атомами ядерного топлива. Теплоноситель (вода в системах ВВЭР-100) позволяет отводить тепло, выделяемое в активной зоне реактора, поддерживая постоянную температуру как активной зоны реактора, так и теплоносителя.

Условия эксплуатации ГЦН должны быть постоянными и стабильными, поскольку безопасность и защита активной зоны реактора зависят от величины потока теплоносителя, который забирает тепло из активной зоны реактора. По этой причине ГЦН должен быть рассчитан на эксплуатацию в течение длительных периодов времени без необходимости технического обслуживания вне плана обслуживания, установленного для реактора.

Поэтому количество этих устройств (ГЦН) в реакторных установках сводится к минимуму из-за сложности установки их компонентов и экономического эффекта от их обслуживания. Принимая во внимание рабочие характеристики, требуемые для энергоблоков ВВЭР-1000, необходимо выбрать тип насоса, который гарантирует постоянную подачу теплоносителя с минимальными и контролируруемыми утечками через вал в течение длительных периодов работы. Это условие необходимо для соблюдения требований безопасности.

В настоящее время существует несколько типов главных циркуляционных насосов, которые могут быть соединены с системами ВВЭР-1000. Наиболее распространенными являются:

- ГЦН-195М;
- ГЦНА-1391.

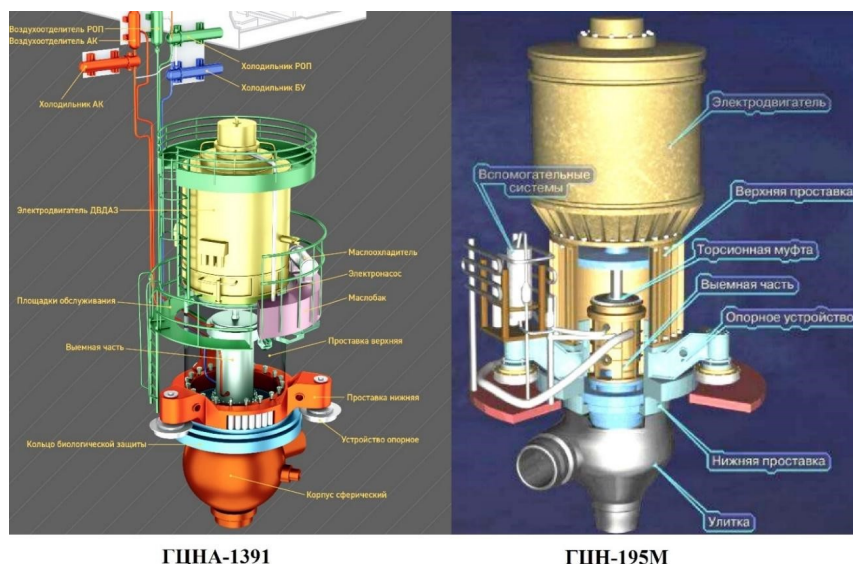


Рис. VI.2.3. Типовые главные циркуляционные насосы

Технические данные ГЦН-195М

В данном случае рассматривается насос типа ГЦН-195М. Этот тип насоса установлен на большинстве атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000 в России. ГЦН-195М был разработан на основе насоса ГЦН-195 с использованием более передовых технических решений и дополнительных компонентов. Расход теплоносителя и газа ГЦН-195М был разработан для работы с давлениями и температурами, типичными для систем ВВЭР-1000.

Основными характеристиками его конструкции являются:

- центробежный тип;

- вертикальный вал ротора;
- статические и вращающиеся механические уплотнения для ограничения осевого потока теплоносителя.

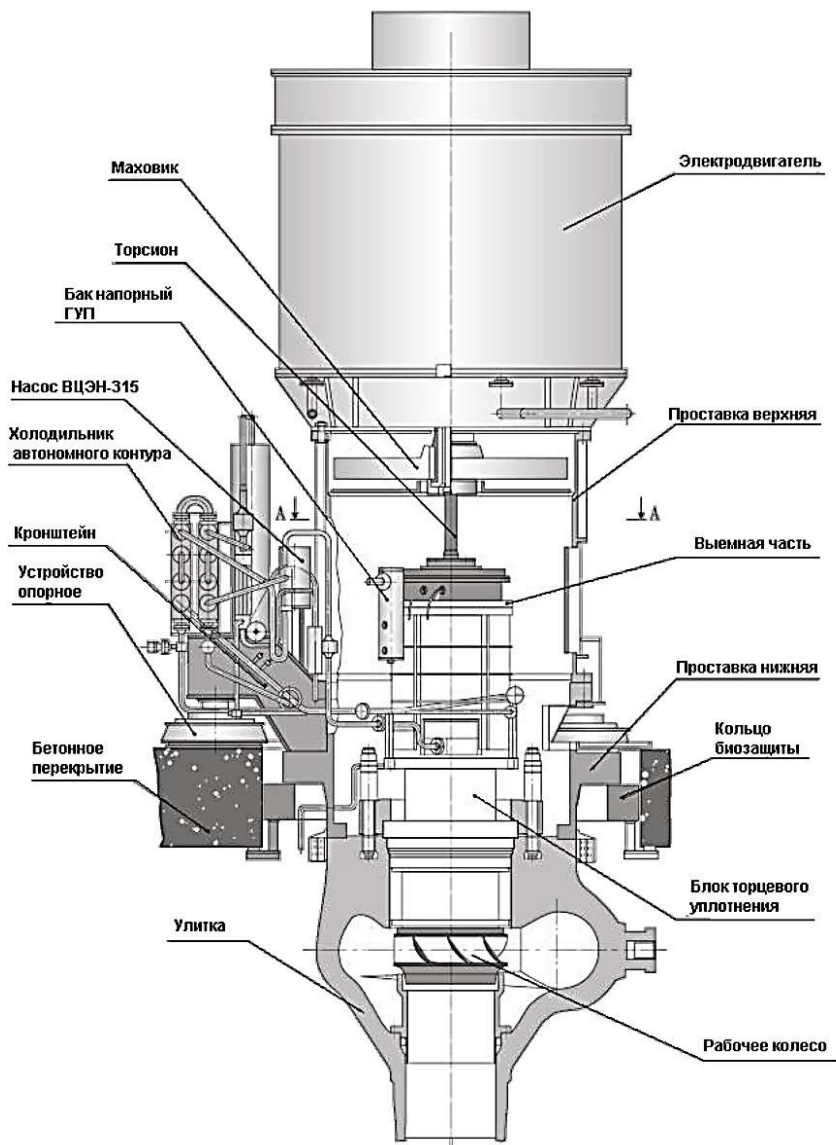


Рис. VI.2.4. Общее устройство главного циркуляционного насоса ГЦН-195М

Корпус ГЦН-195М монолитный, выполнен из коррозионностойкого материала,

имеет эллиптическую форму, электродвигатель установлен на верхнем конце вала ротора насоса. Все части насоса, соприкасающиеся с теплоносителем, изготовлены из коррозионностойкой стали. Основное оборудование насоса может быть разделено на функциональные блоки сверху вниз.

Конструкция ГЦН состоит из следующих узлов:

- блок двигателя и его вспомогательные компоненты,
- головка вала,
- инерционная опора сечения вала ротора,
- четырехуровневая секция уплотнений вала ротора,
- система смешивания масла,
- антиревертор,
- стабилизирующие кольца,
- опорные кольца,
- импульсные лопасти для центрифугирования теплоносителя,
- система охлаждения,
- тепловой барьер.

Корпус защищает внутренние системы насоса и обеспечивает поддержку для установки других вспомогательных приборов, таких как:

- система охлаждения,
- приборная панель для подключения вспомогательных систем,
- линии технического водоснабжения и дренажа для уплотнений вала, дренажа утечка в главном разъеме без сброса воды в окружающей среде.

Ось насоса стабилизирована несколькими вращающимися кольцами, расположенными в верхней, средней и нижней части над импульсными лопастями. В местах максимального трения с кольцами насоса несколько участков вала защищены концентрическими сильфонами. Вал изготовлен из стали марки 14X17H2.

Чтобы посадить рабочее колесо и гребень упорного подшипника, на обоих концах вала находятся эвольвентные шлицы. Для защиты втулки от вращения относительно установленного вала используется шпонка. Такой механизм соединения обеспечивает как надежность установки колеса и гребня на валу, так и удобство при сборке и разборке. Вал насоса динамически балансируется совместно с рабочим колесом и гребнем упорного подшипника.

Технические данные ГЦН-195М

Технические параметры	ГЦН-195М
Расход теплоносителя при нормальной работе м ³ /ч	20000,00
Нормальное рабочее давление, МПа	15,60
Давление напора, МПа	0,675 ± 0,25
Обороты вала ротора в НЭ, об/мин	1000,00
Рабочая температура, °С	350,00
Максимальное расчетное давление, МПа	18,00
Холодный и горячий режим рассеивания мощности, кВт	7000/5300
Расходы технической воды, м ³ /ч	не менее 40
Время стабилизации ротора, с	не более 12

Технические параметры	ГЦН-195М
Расход смазочного масла, м ³ /ч	26,5–285
Расход смазочного масла электродвигателя, м ³ /ч	5–6
Мощность электродвигателя, МВт	8,00
Мощность катушки электродвигателя, кВт	6,00
Время работы электромотора без масла, мин	5,00
Время работы электромотора без напряжения, мин	25,00
Угловая скорость двигателя, об/мин	1000,00
Общий вес агрегата ГЦН-195М, т	140/40
Размеры агрегата ГЦН-195М, мм	3480/4045/10660
Расход воды при техническом обслуживании 4ГЦН, м ³ /ч	не менее 486,0
Диаметр питающей трубы ГЦН, мм	850, ВВЭР-1000
Скорость среды для конденсата и питательной воды (трубы из углеродистых сталей), м/с	2,0–3,0
Скорость среды для конденсата и питательной воды (трубы из аустенитных нержавеющей сталей), м/с	8,0–12,0
Диаметр клапана высокого давления тип «вентили», мм	125 и менее
Диаметр задвижки высокого давления тип «вентили», мм	70–125
Коэффициент сопротивления клапанов типа «вентили», диаметр 100 мм	2,5–5,5
Коэффициент сопротивления задвижек типа «вентили», диаметр 100 мм	0,25
Коэффициент сопротивления клапанов типа «вентили», диаметр 50 мм	1,50
Коэффициент сопротивления стальных труб с гладким редуктором	0,80
Расход воды на очистку для ВВЭР-1000, т/ч	40,00

Конструкция системы механического уплотнения ГЦН

Блок уплотнения вала используется для того, чтобы предотвратить утечки теплоносителя из первого контура по валу насоса. Он состоит из четырех уровней уплотнения. Каждый уровень содержит ротор, закрепленный на валу, и статор, закрепленный в корпусе. Блок штоков вала соединяется с нижней частью гидростатики подшипника и направляет два основных дросселирующих ступенчатого механического уплотнения и конец ступеней.

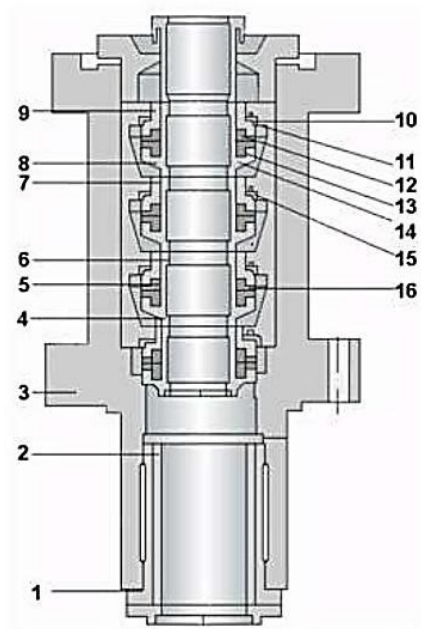


Рис. VI.2.5

Блок торцевых уплотнений вала ГЦН-195М:

1. корпус нижнего подшипника;
2. нижний гидростатический подшипник;
3. корпус выемной части;
4. разделительная ступень;
5. кольцо;
6. втулка;
7. вал;
8. концевая ступень;
9. резиновая прокладка;
10. пружины;
11. корпус статорного элемента;
12. статорный элемент;
13. роторный элемент;
14. основная дросселирующая ступень 1;
15. основная дросселирующая ступень 2;
16. установочное кольцо.

На валу насоса установлена защитная накладка. На ней устанавливается ступень механического уплотнения. Основные дросселирующие ступени состоят из элементов ротора и статора, который может перемещаться на валу и поджиматься пружинами к ротору. Ограничитель-штифт поддерживает скользящий элемент, который ограничи-

вает свободное движение статора. На рисунке VI.2.6 6 показаны основные элементы узла уплотнения вала ГЦН-195М.

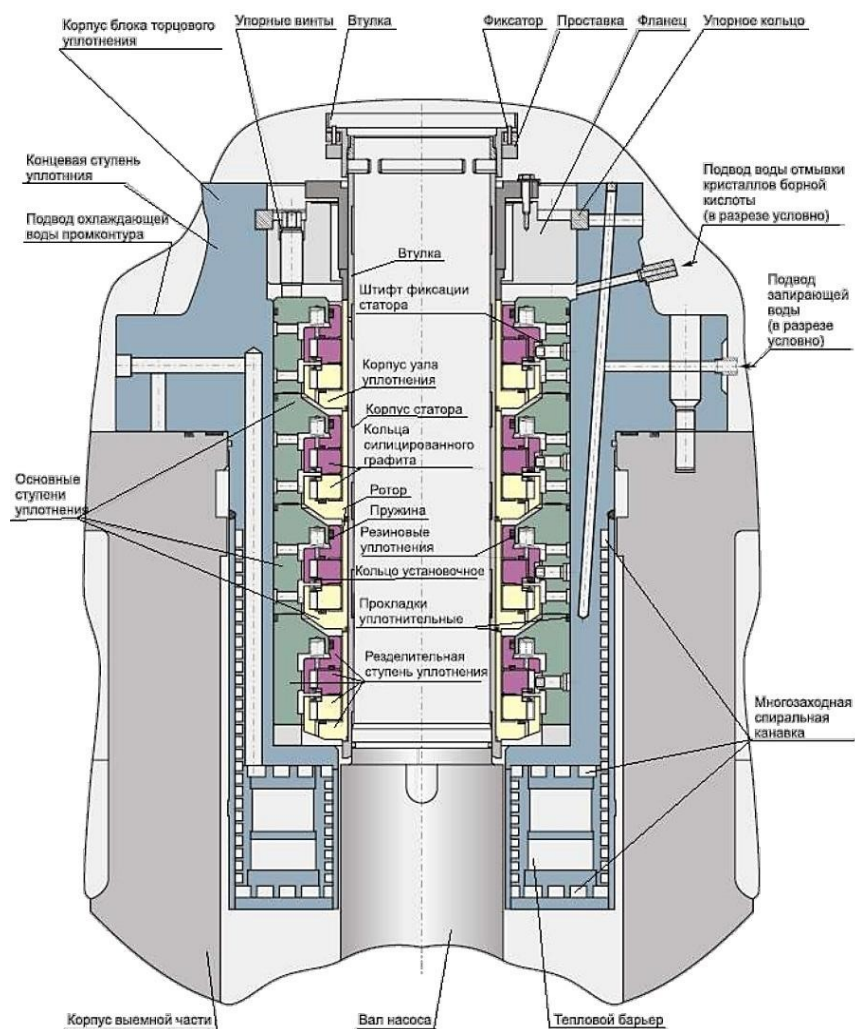


Рис. VI.2.6. Основные элементы узла уплотнения вала ГЦН-195М

Вторая, третья и четвертая ступени уплотнения также оснащены всеми элементами, имеющими такое же уплотнение для герметизации, что и для первой ступени. Эти ступени состоят из корпуса, статора и вращающихся элементов, пружин и резиновых уплотнений.

Конструкция уплотнения вала ГЦН позволяет выдерживать перепад давления 0,5–0,8 МПа с максимальным значением 2,0 МПа во всех режимах работы, при этом

утечки воды не превышают значения 100 л/ч.

При нормальной работе насоса ($T = 280^\circ\text{C}$, $P = 16,0$ МПа) утечка не превышает 50 л/ч. Чтобы предотвратить утечку воды из первого контура насоса через каналы в корпусе в уплотнительные полости подается очищенная и охлаждаемая запирающая вода под давлением, превышающим давление первого контура в диапазоне 0,5–0,8 МПа.

Корпус встроенного уплотнения холодильника представляет собой стальную сварную конструкцию. Для того чтобы прокачивать охлаждающую воду из промышленного контура с расходом $3\text{ м}^3/\text{ч}$, выполнен многозаходный спиральный паз. В корпусе также устроен тепловой барьер, чтобы понижать температуру в зоне уплотнения как для вала насоса, так и для корпуса ГЦН. Кроме того, выполнены выходные каналы фитингов для подъема и выхода воды.

Охлаждающая вода и все технические системы механических уплотнений имеют среднюю температуру порядка 50°C . Вода для охлаждения прокачивается через фильтры грубой и тонкой очистки с помощью центрифуг для отделения механических загрязнений частицами размером (≥ 10 мкм).

Технические данные системы уплотнений ГЦН-195М

Технические параметры	ГЦН-195М
Падение давления воды уплотнений, МПа	0,5–0,8
Падение давления между последовательными уровнями уплотнений (относительно начального значения), %	50
Граница давления в линии отвода уплотняющей воды, МПа	0,09–0,2
Расход воды на уплотнения насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$	не более 2
Расход воды для всех уровней уплотнений насоса, направленных на систему организованных утечек, $\text{м}^3/\text{ч}$	не более 1,2
Утечка воды через уплотнительные диски, направленная на первый контур, $\text{м}^3/\text{ч}$	не более 0,75
Слив блокирующей воды через последнюю стадию уплотнения, $\text{м}^3/\text{ч}$	не более 0,05
Температура блокировки воды, $^\circ\text{C}$ (не более)	70,00
Масса твердых частиц в уплотнительной воде, г/л	0,03

Основные термины теории автоматического управления

В состав автоматизированных систем управления входят основные элементы, представленные в целом блоками функций, организованными определенным образом, в соответствии с технологическими процессами, которые необходимо контролировать.

Для представления САУ существует два наиболее распространенных принципа регулирования:

- по возмущению;
- по отклонению.

Принцип регулирования по возмущению состоит в том, чтобы подать управляющее воздействие на регулятор и объект управления так, чтобы действие регулятора

определялось величиной возмущения, которое воздействует на объект управления. Таким образом, действие регулятора направлено на минимизацию влияния возмущения на контролируемую переменную, тем самым ограничивая ее отклонение.

Принцип регулирования по отклонению состоит в том, что сигнал датчика по обратной связи отправляется на вход системы управления и сравнивается с желаемым значением регулируемого параметра. Если эти значения (желаемое и действительное, измеренное датчиком) различаются, то выполняется воздействие на исполнительный механизм и регулирующий орган для устранения этой разницы.

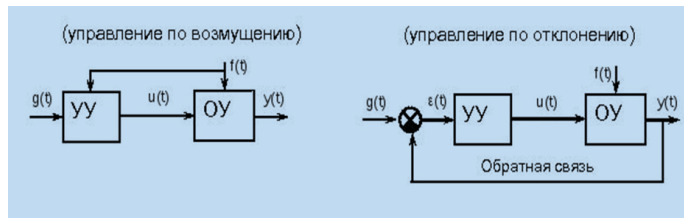


Рис. VI.2.7. Структурная схема контура двух принципов регулирования

Для проектирования регулирующего устройства (регулятора) существуют следующие условия:

- регулятор должен реагировать на отклонение контролируемого параметра, независимо от его причины;
- автоматическая система управления должна наблюдать и реагировать в соответствии с результатами мониторинга его параметра вывода;
- обеспечить стабильную долгосрочную эксплуатацию объекта и стабилизацию контролируемого параметра с приемлемой точностью.

Основные элементы автоматического регулирования

Одной из основных задач автоматических систем регулирования замкнутого цикла (с обратной связью) является поддержание технологических параметров (аналоговых или дискретных сигналов) в соответствии с заданными значениями. Как правило, системы автоматического управления с обратной связью (рис. VI.2.8) состоят из определенного числа представительных элементов (блоков), по которым циркулируют сигналы.

Эти системы включают в себя:

- регулятор;
- исполнительный механизм;
- объект управления;
- датчики.

Регулятор или управляющее устройство контролирует состояние объекта управления и производит необходимые сигналы управления $u(t)$. Он фиксирует изменения некоторых параметров объекта управления $y(t)$ (с помощью датчиков) и реагирует на их изменение путем обработки алгоритмов управления с заданным качеством управления.

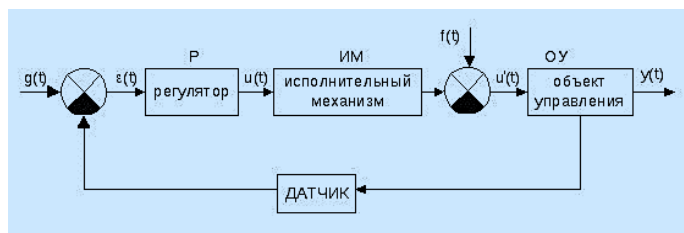


Рис. VI.2.8. Структурная схема контура автоматического регулирования с основными элементами управления

Исполнительный механизм — это устройство, предназначенное для перемещения регулирующего органа (РО) в системах автоматического регулирования (САР), непосредственно осуществляющее механическое перемещение (или поворот). Изменения положения РО вызывает изменение потока энергии или вещества, поступающего на (ОУ) объект управления $u'(t)$, устраняя отклонение регулируемой величины от заданного значения.

Объект управления является процессом, который характеризуется одним или более выходами контролируемых параметров $y(t)$ по отношению к одному или более действиям по контролю ввода желаемого значения регулируемой величины $g(t)$. Во время эксплуатации объекта управления его состояние может изменяться из-за изменения желаемого значения регулируемой величины $g(t)$ или других нежелательных внешних помех $f(t)$.

Регулятор перепада давления на уплотнениях ГЦН

Функция этого регулятора состоит в том, чтобы обеспечивать необходимое давление посредством действия регулирующего клапана для поддержания уплотнений насоса с перепадом давления более 0,5 МПа по отношению к давлению первого контура.

Падение давления обеспечивается автономной линией постоянного потока чистого теплоносителя, поступающего из системы очистки и фильтрации организованных утечек, а также из линии подачи очищенной воды. Избыток перепада давления не превышает 2 МПа. Давление в уплотнениях насоса при нормальной эксплуатации реакторной установки составляет 0,5–0,8 МПа, что больше, чем давление в верхней части впускной камеры циркуляционного насоса. В пространстве между валом насоса с уплотнениями давление насоса имеет значение того же порядка, что и давление в верхней части впускной камеры.

Регулирование давления в уплотнениях насоса осуществляется путем впрыска воды, которая поступает из системы продувки и загрузки с охлажденной чистой водой. Блокирующая вода направляется на четыре уровня уплотнения, а также внутрь насоса, через пространство между механическими уплотнениями и валом ГЦН. Другая часть переносится на следующие ступени герметизации с помощью соединительных клапанов. Эти клапаны, помимо переноса воды на следующие ступени герметизации, также уменьшают давление герметизирующей воды для верхних ступеней, пропорционально распределяя перепад давления на каждом этапе в нормальном режиме.

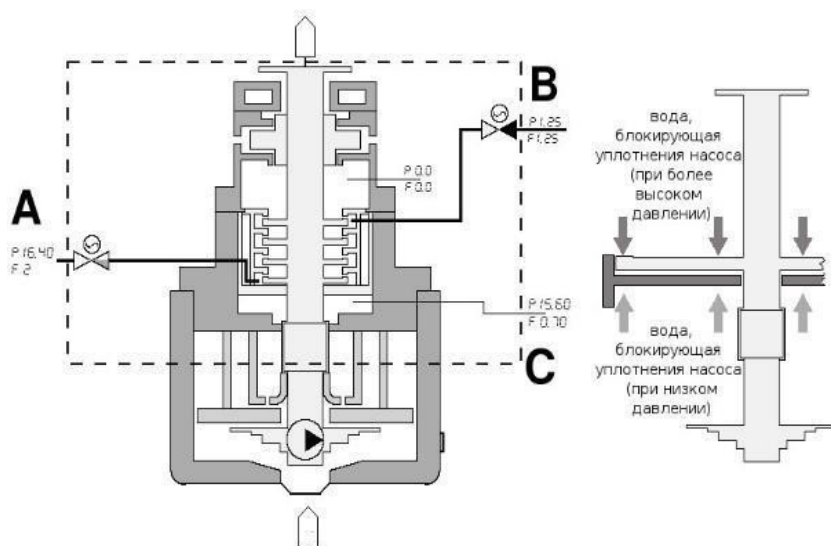


Рис. VI.2.9. Схема уплотнений ГЦН-М95 (ВВЭР-1000)

В случае отказа одного из концов ступеней остальная часть ступеней полностью поглощает перепад давления, а расход воды разгерметизации значительно увеличится в соответствии с установленными условиями регулирования, достигающими вдвое большей начальной нагрузки.

В случае отказа обеих ступеней уплотнения оставшиеся ступени поглощают полный перепад давления, который падает в конце стадии уплотнения, и главный циркуляционный насос должен быть отключен, а клапаны закрыты для линии свободного слива водяного уплотнения.

Исполнительным механизмом является регулирующий клапан. Закон управления носит пропорционально-интегральный характер.

Измерение давления для формирования управляющего воздействия регулятора производится во впускной камере и в линии подачи воды в уплотнениях насоса.

Параметры характеристики клапана TK51S02

Характеристики и основные технические данные	Обозначение	Ед. физической величины	Значение/данные
Проход условный на входе/выходе	DN	мм	20
Тип рабочей среды	—	—	Вода первого контура
Параметры рабочей среды (рабочие)*	p	МПа	20
	t	°C	70
Расходная характеристика	—	—	Линейная

Допустимое отклонение от линейной характеристики, не более		%	5
Перепад на клапане рабочий	ДРр	МПа	3,4
Пропускная способность	Kv	т/ч	0,9
Способ управления	*-	—	Электрический вращающийся сер- вопривод
Марка материала трубопровода	—	—	Сталь 08X18H1 ОТ
Размер стыкуемого трубопровода	—	мм	025 × 3

Принципиальная схема и физические процессы на участке объекта управления

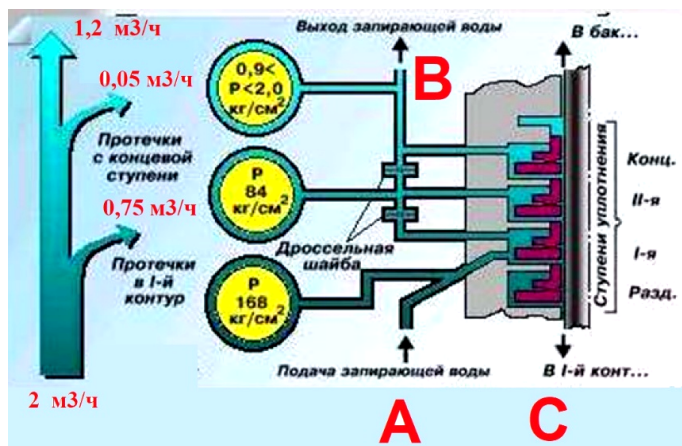


Рис. VI.2.10. Схема уплотнений ГЦН-М95 — ВВЭР-1000

А — впускная линия с клапаном управления уплотнением воды;

В — выпускная линия с клапаном управления уплотнением воды;

С — утечка воды из уплотнений по направлению к первому контуру.

Обозначение:

- $p_l F_l$ — давление и поток воды на входе клапана «точка А»;
- $p_k F_k$ — давление и поток воды на выходе клапана «точка А»;
- $p_f F_f$ — давление и поток воды на последнее уплотнение «точка В»;
- $p_y F_y$ — давление и поток воды утечки в первый контур «точка С».

На диаграмме видно, что на входе исследуемой системы управления перепада давления на уплотнения ГЦН, в точке А, перед регулирующим клапаном имеется

поток воды для уплотнений F_l находящийся под давлением определяющийся значением — p_l , а в точку В, после клапана идет поток воды — F_k под давлением — p_k , которое регулируется при помощи клапана. На уплотнения поступает поток F_f при давлении p_f , которое уменьшено из-за наличия потока воды утечки в первый контур — точка С.

Исходя из этих соображений, можно представить исследуемую систему между точками А и В более простым способом, как показано на рисунке VI.2.11.

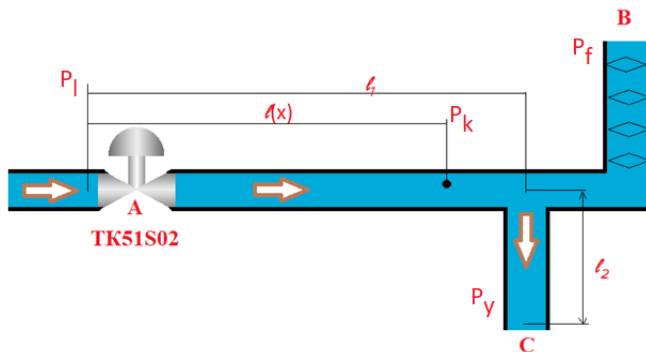


Рис. VI.2.11. Упрощенная схема объекта управления

Важно отметить, что между точками А и В система не полностью закрыта — существует утечка воды для уплотнений в направлении первого контура реактора F_y . Она исходит из пространства между поверхностью статического диска и поверхностью поворотного диска механического уплотнения насоса. Место утечки обозначено буквой С.

На данном этапе описанный процесс может быть представлен гидравлическим сопротивлением R_y . Необходимо уточнить, что между точками А и В расположена система регулирования давления, которая снижает его в два раза. Таким образом, можно считать, что в точке В имеется гидравлическое сопротивление R_f .

Условия и ограничения математической модели объекта управления

Для разработки уравнения математической модели объекта управления относительно исследуемой системы и представления объекта управления с помощью математической модели введем следующие условия.

Параметр, который должен контролировать на входе в систему p_k . Это давление регулируется клапаном в точке А силой, которую оказывает давление на одну из сторон механического уплотнения диска системы p_k (давление, подаваемое в систему). Оно должно иметь значение, превышающее давление, оказываемое на противоположную сторону дисков (давление первого контура реактора). Перепад давления должен всегда поддерживаться постоянным и иметь номинальное значение 0,5–0,8 МПа. Этот регулируемый параметр является гарантией нормальной работы уплотнений, чтобы избежать утечки теплоносителя из первого контура.

Клапан в точке А регулирует давление на входе в систему уплотнений, обеспечивая возможность изменения площади поперечного сечения в зависимости от расхода воды в уплотнениях. Эта функция позволяет осуществлять регулирование параметра давления на входе системы. В линии подачи воды для уплотнений насоса на стороне перед регулирующим клапаном точки А значение давления является постоянным, и обеспечивается постоянный поток $p_l = 18$ МПа и $F_l = 2$ м³/с.

Точка В считается ограничением потока жидкости F_f с фиксированным значением гидравлического сопротивления и постоянной площадью. Согласно справочным данным значение давления p_f сразу после клапана, представляющего ступенчатый байпас системы уплотнений насоса, имеет приблизительное значение 1,2–2 МПа (перепад давления 15 МПа). Поэтому при расчете сопротивления в этой точке достаточно высокое (аналог полностью закрытого клапана), что не оказывает существенного влияния на динамику процесса управления, поэтому F_f можно считать постоянным.

В точке С имеется поток воды q_y одного направления (от системы уплотнений насоса до первого контура реактора). Перепад давления на стороне первого контура реактора p_y не может быть больше 0,2 МПа (т. е. $15,6 \pm 0,2$ МПа) по отношению к значению падения давления уплотнений (0,5 МПа) из-за давления первого контура реактора и контура воды уплотнения насоса.

Составление математической модели объекта управления

На упрощенной схеме объекта управления перепад давления выражен в виде $\Delta p = p_{кл} - p_y$. Если давление в первом контуре считается постоянным, то, по сути, задача регулирования перепада давления сведена к задаче регулирования давления после клапана.

Регулируемой величиной служит давление $p_{кл} = p_x$, изменяющееся вдоль трубопровода:

$$p_x = p_l - \Delta p_{yk}, \quad (\text{VI.2.1})$$

где Δp_{yk} — падение давления вследствие увеличения скорости потока на этом участке.

Перепишем это выражение для малых отклонений:

$$p_x + \Delta P_x = \Delta p_l - a_{pk} \Delta M + b_{pk} \Delta S_{pk} - a_{yk} \Delta M', \quad (\text{VI.2.2})$$

где M — массовый расход, кг/с.

$\Delta p_l = 0$, т. к. p_l — постоянная величина для данного случая.

Вычтем из (VI.2.2) уравнение статики (VI.2.1), получим:

$$a_{yk} \Delta M' + a_{pk} \Delta M = -\Delta p_x + b_{pk} \Delta S_{pk}. \quad (\text{VI.2.3})$$

Это дифференциальное уравнение, связывающее P_x с регулирующим воздействием клапана, а именно, с изменением его проходного сечения ΔS_{pk} .

Теперь необходимо найти уравнение, связывающее ΔM и ΔS_{pk} . Как следует из принципиальной схемы, участок представляет собой оболочку, через которую перемещается поток несжимаемой жидкости. Подвода и отвода тепла нет, или ими можно пренебречь. Определяющий физический процесс — механическое перемещение массы жидкости. Потери энергии (изменения давления на таких участках), как правило,

небольшие, а жидкость практически несжимаема. Вследствие этого нет необходимости записывать уравнение сохранения массы, а также из-за отсутствия теплообмена (закон сохранения энергии).

Поэтому основные свойства участка описываются уравнением сохранения количества движения баланс сил в виде баланса давлений:

$$\frac{L}{S_{tp}} \frac{dM}{dt} = p_l - p_y - \Delta p_T, \quad (\text{VI.2.4})$$

где L — длина прямых частей трубопровода на участке, м;

S_{tp} — сечение трубопровода;

$\Delta p_T = \Delta p_l + \Delta p_{pk}$ — потери давления на трение, которые складываются из потери в трубопроводе и потери в регулирующем клапане.

Тогда исходная математическая модель участка в приращениях представляет собой формулу:

$$\frac{L}{S_{tp}} \frac{d(\Delta M)}{dt} = \Delta p_l - \Delta p_y - \Delta(\Delta p_l) - \Delta(\Delta p_{pk}), \quad (\text{VI.2.5})$$

$\Delta p_l = \Delta p_y = 0$, т. к. их значения постоянны. Теперь найдем $\Delta(\Delta p_{pk})$ путем линеаризации двух последних членов.

Потери давления в трубопроводе определяют по упрощенному уравнению:

$$\Delta p_l = K_l M^m. \quad (\text{VI.2.6})$$

При турбулентном движении показатель степени $m = 2$.

$$\Delta(\Delta p_l) = \frac{\partial(\Delta p_l)}{\partial M} \Delta M = 2K_l M \Delta M = a_l \Delta M, \quad (\text{VI.2.7})$$

где $a_l = 2K_l M$; $K_l = \frac{\sum \xi}{2\rho S_{tp}^2}$,

$\sum \xi$ — сумма местных сопротивлений.

Для регулирующего клапана зависимость между потерей давления в клапане расходом и проходным сечением выражается формулой:

$$\Delta p_{pk} = K_{pk} \left(\frac{M}{S_{pk}} \right)^2, \quad (\text{VI.2.8})$$

где $K_{pk} = \frac{\xi_{pk}}{2\rho}$; ξ_{pk} — коэффициент сопротивления клапана.

Сделаем линеаризацию:

$$\Delta(\Delta p_{pk}) = \frac{\partial(\Delta p_{pk})}{\partial M} \Delta M + \frac{\partial(\Delta p_{pk})}{\partial S_{pk}} \Delta S_{pk} = a_{pk} \Delta M - b_{pk} \Delta S_{pk}, \quad (\text{VI.2.9})$$

где введенные обозначения: $a_{pk} = \frac{2K_{pk}M}{S_{pk}^2}$; $b_{pk} = \frac{2K_{pk}M^2}{S_{pk}^3}$.

Обозначив $a_{yk} = \frac{L}{S_{tp}}$, получим линейную аналитическую модель:

$$a_{yk} \frac{d(\Delta M)}{dt} = -a_{\text{л}} \Delta M - a_{pk} \Delta M + b_{pk} \Delta S_{pk} \quad (\text{VI.2.10})$$

или

$$a_{yk} \Delta M' + (a_{\text{л}} + a_{pk}) \Delta M = b_{pk} \Delta S_{pk}. \quad (\text{VI.2.11})$$

Это дифференциальное уравнение первого порядка характеризует в общем виде динамические свойства системы по расходу жидкости.

Таким образом, получим систему уравнений (VI.2.3) и (VI.2.11):

$$(I) \begin{cases} a_{yk} \Delta M' + a_{pk} \Delta M = -\Delta p_x + b_{pk} \Delta S_{pk}, \\ a_{yk} \Delta M' + (a_{\text{л}} + a_{pk}) \Delta M = b_{pk} \Delta S_{pk}. \end{cases}$$

Вычтем первое из второго уравнения, получим:

$$a_{\text{л}} \Delta M = \Delta p_x. \quad (\text{VI.2.12})$$

Это прямая связь между ΔM ; Δp_x .

Умножим второе уравнения системы (I) на $a_{\text{л}}$:

$$a_{yk} \Delta p'_x + (a_{\text{л}} + a_{pk}) \Delta p_x = a_{\text{л}} b_{pk} \Delta S_{pk}. \quad (\text{VI.2.13})$$

Разделив все члены на выражение в скобках, приведем его к виду:

$$T \Delta p'_x + \Delta p_x = K_{pk} \Delta S_{pk}, \quad (\text{VI.2.14})$$

где $T = \frac{a_{yk}}{a_{\text{л}} + a_{pk}} = 3$ с; $K_{pk} = \frac{a_{\text{л}} b_{pk}}{a_{\text{л}} + a_{pk}} = 1$.

В данном случае в нашей системе автоматического регулирования управляющее воздействие измеряется не величиной площади проходного сечения клапана, а его объемным расходом (м³/час). Величины связаны линейной зависимостью:

$$\Delta S_{pk} = K_s \Delta h,$$

где Δh — степень открытия клапана, заданное в процентах; K_s — коэффициент пропорциональности.

При определении K_s принимаем, что при изменении Δh от 0 до 100% давление после регулирующего клапана изменялось от 0 до 18 МПа. Потерями давления в регулирующем клапане, указанными в таблице характеристик и равными 3,4 МПа, рекомендуется пренебречь.

Задание

Этапы (подзадачи) выполнения задания.

1. Подготовка цифровой модели. На данном этапе необходимо:

- Подготовить разностные уравнения для объекта управления и уравнение для исполнительного устройства по методу Эйлера, приняв во внимание, что величины давления как со стороны первого контура реактора ВВЭР, так и со стороны уплотнений являются переменными величинами с указанными в легенде задания диапазонами. Рекомендуется при этом выбирать значение расчетного шага по времени Δt не более 0,1 с.
 - Числовые значения параметров принять в соответствии с системой единиц СИ.
2. Реализация цифровой модели в специализированном программном обеспечении.
- Создать базу данных с описанием переменных и параметров модели.
 - Задать такт работы в режиме реального времени в соответствии с расчетным шагом, выбранным при составлении разностных схем решения дифференциальных уравнений. Обратите внимание, что в программной среде «МикСис» такт задается в мс (миллисекундах).
 - Создать группы параметров, участвующих в процессе регулирования для удобного просмотра архивных данных.
 - Предусмотреть имитацию изменения давления со стороны первого контура реактора ВВЭР от 0 до 16 МПа с различными скоростями изменения 0,1–3 МПа/с.
 - Настоятельно рекомендуется предусмотреть возможность включения/отключения модели с помощью дополнительной переменной. При включении модели все переменные принимают начальные значения, т. е. модель переходит в исходное начальное состояние.
3. Разработка графического информационно-управляющего интерфейса. При создании графического интерфейса следует отразить технологическую схему контура управления, включающую стилизованное изображение уплотнений ГЦН, регулятора, исполнительного устройства и регулирующего органа. Необходимо предусмотреть:
- отображение реального астрономического времени;
 - динамическое отображение значений давления в системе управления;
 - отображение расхода воды для различных режимов работы реакторной установки в первый контур;
 - включение/отключение ручного режима (работа в режиме автоматического регулирования и режим, когда регулятор выключен) работы исполнительного устройства — регулирующего клапана;
 - изменение геометрических параметров объекта управления для проведения исследований;
 - при превышении давления со стороны первого контура предусмотреть визуализацию выдавливания уплотнений ГЦН;
 - предусмотреть индикацию возможных аварийных ситуаций и индикацию аварийных команд в части управления ГЦН.
- При разработке графического интерфейса также следует учитывать эргономические особенности: выбранная цветовая гамма, размеры и размещение элементов интерфейса не должны вызывать чрезмерного утомления у оператора, а расположение элементов управления должно быть интуитивно понятным.
4. Реализация системы автоматического регулирования перепада давления на ГЦН:

- при помощи системы технологического программирования RSPro (АлгоВу) выбрать и реализовать закон регулирования перепада давления на уплотнениях ГЦН;
- на основе проведения модельных экспериментов по получению переходных процессов при изменении значения уставки давления произвести настройку регулятора в соответствии с прилагаемой методикой; при этом перерегулирование (выброс значения давления за заданный диапазон) в переходном процессе должно отсутствовать.

При реализации контура регулирования необходимо учесть также ограничения, накладываемые на работу регулирующего клапана: давление, создаваемое регулирующим клапаном, не может быть меньше нуля и не может превышать максимальный значение 18 МПа.

5. Исследовательская часть:

- Проверить и продемонстрировать работу системы поддержания перепада давления. При плане изменении давления в первом контуре (не более 1 МПа/с) реактора ВВЭР-1000 от 0 до 16 МПа, настроив систему регулирования таким образом, чтобы перепад давления на уплотнениях оставался в безаварийном диапазоне значений.
- Проверить и продемонстрировать работу системы поддержания перепада давления — при возмущениях давления в первом контуре реактора ВВЭР-1000 в диапазоне 2 МПа от рабочего при скорости изменения давления не более 0,5 МПа/с.
- Проверить и продемонстрировать работу системы визуализации данных системы управления при всех возможных аварийных режимах, предусмотрев анимацию разрушения уплотнений ГЦН при тяжелой аварии.

6. Подготовка и представление результатов. В качестве отчетных материалов предоставляются:

- демонстрация работоспособности проекта тренажера поддержания перепада давления на уплотнениях ГЦН при различных сценариях, созданного в программном обеспечении «МикСис»;
- отчет, включающий математическую модель объекта и исполнительного устройства, описание переменных и параметров модели в базе данных, код программы, скрины графического интерфейса и результаты исследований модели системы управления перепадом давления на ГЦН при помощи построенного самостоятельно цифрового тренажера.

Система оценивания

Наименование критерия	Кол-во баллов
Критерий 1. Адекватность разработанной математической модели	20
1.1 Разностная форма дифференциального уравнения объекта представлена корректно	8
1.2 Коэффициент K_s найден верно (0,18)	2
1.3 Этика поведения команды при проведении финального этапа не нарушена	10
Критерий 2. Корректность реализации модели в программном обеспечении	20

Наименование критерия	Кол-во баллов
2.1 Приведено исчерпывающее описание переменных и параметров модели в базе данных	5
2.2 Такт работы системы задан корректно (20–100 мс)	5
2.3 Созданы группы для просмотра архивных данных	5
2.4 Разностные уравнения реализованы в MikBasic корректно	5
Критерий 3. Информативность и эргономичность графического интерфейса	20
3.1 Представлено графическое изображение объекта управления, аварийных табло и выдача расчетной информации в режиме реального времени	3
3.2 Имеется отображение реального астрономического времени	3
3.3 Предусмотрено отображение уплотнений ГЦН	4
3.4 Представлены все необходимые элементы управления для реализации заданной логики управления запорной арматурой объекта управления	4
3.5 Реализована сигнализация защиты по выходу перепада давления из диапазона 0,5–0,8 МПа	3
3.6 Эргономичность интерфейса (выбранная цветовая гамма, размеры и размещение элементов интерфейса не вызывающие утомляющего эффекта у оператора; расположение элементов управления является интуитивно понятным)	3
Критерий 4. Соответствие разработки предъявляемым требованиям и исходным данным	20
4.1 Положение перепада давления на мнемосхеме соответствует реальному перепаду давления в базе данных (расчетному)	4
4.2 Реализован закон изменения давления в первом контуре реактора и производится расчет скорости изменения этого давления	4
4.3 Закон управления удовлетворяет минимальным требованиям, предъявляемым к качеству переходного процесса — перерегулирование отсутствует	4
4.4 Предусмотрены ограничители (концевые выключатели) перемещения запорной арматуры	4
4.5 Логика управления запорной арматурой соответствует поставленной задаче.	4
Критерий 5. Качество представленных результатов	20
5.1 В отчете продемонстрирован сценарий работы контура управления в автоматическом режиме в соответствии с заданными условиями	5
5.2 Подготовлен и представлен отчет, включающий этапы создания цифрового тренажера — скрины графических интерфейсов с комментариями	5
5.3 Представленный проект позволяет провести исследования объекта управления	5
5.4 Достаточность представленного материала для понимания логики работы модели.	5
Итого	100

Решение задачи

Этап 1. Реализация базы данных реального времени

На рисунке VI.2.12 представлена заполненная база данных реального времени в соответствии с разработанным кодом цифровой модели объекта управления.

Проект: [D:\nik\]. Лицензия: [Shemursha]. Пользователь: []

УСО Сеть Алго Алго ВУ ТЭП Минимосхемы Документы Просмотр трендов

Пользовательские профили | Настройки | Основное | Сеть/УСО | Тренды | WEB | Время: [0] Такт БД.мс: 789приём: Операция: Опант.к.: 250744 [16:48:21]

Основное | Значения | Усреднения | Все | Уставки | Статусы | Синхронизация НСИ

Номер	Название	Описание	Посл.Знач...	Статус	Время обн...	Источник	Тайм...
A0	dt(ms)	такт, мс	92	0	16:48:22.392	Такт раб...	60000
A1	dt(s)	такт, с	0.078	0	16:48:22.392	Calc. [SA...	0
A2	dp	разность давлений сейчас	0.75	0	16:48:22.392	0	0
A3	dp_уст	уставка разности давлений	0.75	0	16:24:36.056	0	0
A4	p	давление на клапане сейчас	17.2415	0	16:48:22.392	0	0
A5	p1	давление в 1 контуре	16.4915	0	16:24:50.147	..., Такт: 7...	0
A6	p0	давление на входе	18	0	16:24:36.056	0	0
A7	T	период вызова звена	0.5	0	16:24:36.056	0	0
A8	k	коэф. открытия	0.95786	0	16:48:22.392	0	0
A9	on/off_модели	вкл/выкл модели	1	0	16:24:36.086	0	0
A10	on/off_per	вкл/выкл регулятора	1	0	16:24:43.909	0	0
A11	Pуст	уставка по давлению	17.2415	0	16:48:22.392	0	0
A12	П	пропорциональный коэффициент	1	0	16:48:08.303	0	0
A13	И	интегральный коэффициент	1	0	16:48:07.436	0	0
A14	T	период вызова	1	0	16:48:09.018	0	0
A15	K _S	пропорциональный коэффициент	0.18	0	16:24:36.056	0	0
A16			###	38	03:00:00.000	0	0
A17			###	38	03:00:00.000	0	0
A18	p1_прозв.		0	0	16:48:22.392	60000	0
A19	e1	сигнус	0	0	16:48:15.083	0	0
A20	a2	сигнус 2	0	0	16:48:15.825	60000	0
A21			###	###	###	60000	0
A22	процент_открытия	на сколько открыт клапан	95.786	0	16:46:40.771	ALGO: P...	0
A23	водавход	графика	81	0	16:48:22.392	60000	0
A24	водаклапан	графика	77.5867	0	16:48:22.392	60000	0
A25	вода1	графика	-77.5867	0	16:48:22.392	60000	0
A26	водавыход	графика	38.7933	0	16:48:22.392	60000	0
A27	водувел	графика	-283.527	0	16:48:22.392	60000	0
A28	клапан	графика	-3.41335	0	16:48:22.392	60000	0
A29	выдавливание	графика	1.125	0	16:48:22.392	60000	0
A30	расходнаходе	графика	1.91572	0	16:48:22.392	60000	0
A31	расходк1конт	графика	0.766288	0	16:48:22.392	60000	0
A32	расходквыходу	графика	1.14943	0	16:48:22.392	60000	0
A33			###	###	###	60000	0
A34			###	38	03:00:00.000	60000	0
A35			###	###	###	60000	0

Группы: ☐ Тренды ☐ давления ☐ все нужные параметры

Навигация: << < > >>

Номер: A000
-1 -10 -100 D000
+1 +10 +100 D999

Радистирование: Копир. Встав. С A21
Вырез. Отменить По A21

Поиск:
Зачека:
Искать в отмеченном ☐
Искать ☐ Поиск и зачека ☐

Настройка пренотра: ☐ Открывать с места последнего пренотра ☐ Запомнить позицию ☐

Рис. VI.2.12

Этап 2. Программный код

Ниже представлен код программы, реализованный в интерпретаторе MikBasic, дающий описание объекта управления в соответствии с уравнениями, которые были получены на теоретическом этапе выполнения задания.

```
rem разностные уравнения
IF A[9].VALUE = 1 THEN A[4].VALUE = A[4].VALUEOLD + (A[22].VALUE*A[15].VALUE -
↪ A[4].VALUEOLD)*A[1].VALUE/A[7].VALUE
A[2].VALUE = A[4].VALUE - A[5].VALUE
IF A[9].VALUE = 1 THEN D[1].VALUE = 0
IF A[9].VALUE = 1 THEN A[11].VALUE = A[5].VALUE + A[3].VALUE
A[8].VALUE = A[22].VALUE/100
rem инициализация
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[3].VALUE = 0.75
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[4].VALUE = 0
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[6].VALUE = 18
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[7].VALUE = 0.5
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[22].VALUE = 0
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[11].VALUE = 16.35
IF A[9].VALUE = 0 THEN D[1].VALUE = 1
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[15].VALUE = 0.18
IF A[9].VALUE = 0 THEN A[5].VALUE = 15.6
rem отображение воды
```

```

A[23].VALUE = 81* A[6].VALUE / A[6].VALUE
A[24].VALUE = 81 * A[4].VALUE/ A[6].VALUE
A[25].VALUE = -81 * A[4].VALUE /A[6].VALUE
A[26].VALUE = 81/2 * A[4].VALUE / A[6].VALUE
A[27].VALUE =-296 * A[4].VALUE/ A[6].VALUE
A[28].VALUE = -81*(1- A[8].VALUE)
rem отображение расхода
A[30].VALUE = 2 * A[6].VALUE/A[6].VALUE * A[8].VALUE
A[31].VALUE = 0.8 * A[8].VALUE
A[32].VALUE = 1.2 * A[8].VALUE
A[29].VALUE = -(A[5].VALUE - A[4].VALUE)*1.5
rem производная
A[18].VALUE = (A[5].VALUE - A[5].VALUEOLD)/A[1].VALUE
rem Логика значений коэффициентов от давления первого контура
rem D[5].VALUE = D[3].VALUE + D[4].VALUE
rem IF D[5].VALUE = 0 THEN A[5].VALUE = 15.6
rem IF D[5].VALUE = 0 THEN A[12].VALUE = 0.0002
rem IF D[5].VALUE = 0 THEN A[13].VALUE = 0.05
rem IF D[5].VALUE = 0 THEN A[14].VALUE = 0.5
rem ELSE
rem IF D[3].VALUE = 1 THEN A[12].VALUE = 0.002
rem IF D[3].VALUE = 1 THEN A[13].VALUE = 0.05
rem IF D[3].VALUE = 1 THEN A[14].VALUE = 0.5
rem IF D[4].VALUE = 1 THEN A[12].VALUE = 0.0006
rem IF D[4].VALUE = 1 THEN A[13].VALUE = 0.05
rem IF D[4].VALUE = 1 THEN A[14].VALUE = 0.5
rem состояние
IF A[22].VALUE > 97 THEN D[10].VALUE = 1
IF A[22].VALUE < 97 THEN D[10].VALUE = 0
IF A[22].VALUE < 3 THEN D[11].VALUE = 1
IF A[22].VALUE > 3 THEN D[11].VALUE = 0
rem ограничения
IF A[22].VALUE > 100 THEN A[22].VALUE = 100
IF A[4].VALUE < 0 THEN A[4].VALUE = 0
IF A[5].VALUE < 0 THEN A[4].VALUE = 0
IF A[6].VALUE < 0 THEN A[4].VALUE = 0
rem Состояние
IF A[2].VALUE <= 0.8 THEN
  IF A[2].VALUE >= 0.5 THEN D[6].VALUE = 1
  ELSE D[6].VALUE = 0
IF A[2].VALUE > 0.8 THEN D[6].VALUE = 0
IF A[2].VALUE > 0.8 THEN D[8].VALUE = 1
ELSE D[8].VALUE = 0
IF A[2].VALUE < 0.5 THEN D[7].VALUE = 1
  ELSE D[7].VALUE = 0
IF A[4].VALUE > 17.9 THEN
  IF A[2].VALUE < 0.5 THEN D[9].VALUE = 1
  ELSE D[9].VALUE = 0
IF A[4].VALUE < 17.9 THEN D[9].VALUE = 0
IF D[9].VALUE = 1 THEN D[6].VALUE = 0
IF D[9].VALUE = 1 THEN D[7].VALUE = 0
IF D[9].VALUE = 1 THEN D[8].VALUE = 0
IF D[9].VALUE = 1 THEN A[9].VALUE = 0
IF A[9].VALUE = 0 THEN D[6].VALUE = 0
IF A[9].VALUE = 0 THEN D[7].VALUE = 0
IF A[9].VALUE = 0 THEN D[8].VALUE = 0
IF D[7].VALUE = 1 THEN D[12].VALUE = 1
IF D[7].VALUE = 0 THEN D[12].VALUE = 0
IF D[8].VALUE = 1 THEN D[12].VALUE = 1
IF D[8].VALUE = 0 THEN D[12].VALUE = 0

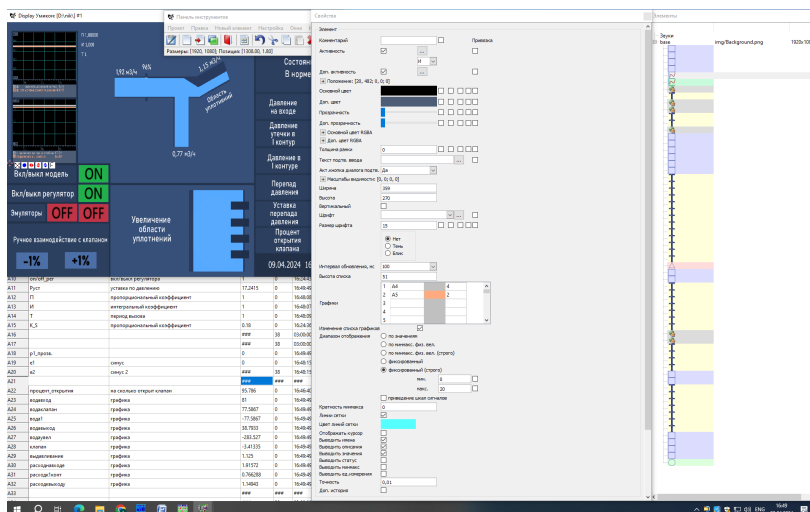
```

IF D[12].VALUE = 1 THEN A[10].VALUE = 1

На рисунке представлен интерфейс настройки закона регулирования для выбранного исполнительного механизма и регулирующего органа. Данный вид работы относится к этапу 4, но при желании может быть выполнен и перед третьим этапом финального тура НТО Ядерная физика и технологии.

The screenshot shows the 'Rsprog: [D:\nik\] #3' window. It has a menu bar with 'Процедура' and 'Алгоблок'. Below the menu bar, there are four main sections: 'Уставка', 'Регулируемая величина', 'Открытие', and 'Выход регулятора'. Each section contains a table with columns for 'A', 'ЗначТек', and 'Скаляр'. The 'Уставка' section shows a setpoint of 0.75 MPa. The 'Регулируемая величина' section shows a controlled variable of 0.714092 MPa. The 'Открытие' section shows a table with columns for 'ПТО Т П' and 'Условия'. The 'Выход регулятора' section shows a controller output of 100%.

Этап 3. Разработка графического информационно-управляющего интерфейса



На данном этапе участники при помощи графического редактора создают и редактируют графические изображения, предназначенные для статической подложки мнемосхемы человеко-машинного интерфейса. Затем в системе отображения Display реализуется динамическая часть человеко-машинного интерфейса путем привязки переменных базы данных реального времени к графическим примитивам. Процесс отладки и реализации человеко-машинного интерфейса представлен на рисунке выше. Реализованный интерфейс для управления режимами цифрового тренажера представлен на рисунке ниже.

Этап 4. Верификация цифровой модели и проведение экспериментов на цифровом тренажере

На данном этапе осуществляется анализ работы системы управления перепадом давления при различных начальных условиях, в которых может находиться объект управления. Эксперименты проходят как в ручном режиме управления, так и с применением регулятора в автоматическом режиме управления. Затем осуществляется обоснование полученных результатов.

При исследовании модели объекта управления проверяются срабатывания аварийных сигнализации при достижении аварийных режимов работы системы управления. Кроме того, производится исследование влияния геометрических параметров объекта управления на процесс регулирования и производительность объекта управления.

Для успешного выполнения пятого этапа необходимо получить работоспособную цифровую модель и «дружелюбный» человеко-машинный интерфейс для управления режимами и параметрами цифрового тренажера. На рисунке представлен цифровой тренажер команды-победителя.



Материалы для подготовки

При решении задач финального этапа можно пользоваться следующими учебными материалами:

- История создания ядерного проекта в СССР — http://elib.biblioatom.ru/text/kudryashov_beria-i-sovetskie-uchenye_2013/go,0/;
- Харитонов В. В. Энергетика. Техничко-экономические основы: Учебное пособие — М.: МИФИ, 2007 — <https://cloud.mail.ru/public/4AV4/2ZbZtb32n>;
- Наумов В. И. Физические основы безопасности ядерных реакторов. Учебное пособие. 2-е изд., М.: НИЯУ МИФИ. 2013 — <https://cloud.mail.ru/public/4AV4/2ZbZtb32n>;
- Семенов В. К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. Учебное пособие. ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет». 2009 — <https://cloud.mail.ru/public/4AV4/2ZbZtb32n>.

Учебные курсы на онлайн-платформах «Открытое образование» и Stepik:

- Проект реактора ВВЭР — https://openedu.ru/course/mephi/mephi_wwer/;
- Основы энергетических ядерных технологий — https://openedu.ru/course/mephi/mephi_energynucleartech/;
- Ядерная физика просто! — <https://stepik.org/course/72608/promo>;
- Язык программирования C++. Часть 1. Процедурное программирование — https://openedu.ru/course/mephi/mephi_pro/;
- Практикум по программированию — <https://stepik.org/course/56240/promo>;
- Введение в программирование (C++) — <https://stepik.org/course/363/promo>;
- Дифференциальные уравнения — <https://openedu.ru/course/ITMOUniversity/DIFEQ/>.

Критерии определения победителей и призеров

Первый отборочный этап

В первом отборочном этапе участники решали задачи предметного тура по двум предметам: информатике и физике и инженерного тура. В каждом предмете максимально можно было набрать 100 баллов, в инженерном туре 100 баллов. Для того, чтобы пройти во второй этап участники должны были набрать в сумме по обоим предметам не менее 60 баллов, независимо от уровня.

Второй отборочный этап

Количество баллов, набранных при решении всех задач второго отборочного этапа, суммируется. Победители второго отборочного этапа должны были набрать не менее 128,75 баллов, независимо от уровня.

Заключительный этап

Индивидуальный предметный тур

- информатика — максимально возможный балл за все задачи — 100 баллов;
- физика — максимально возможный балл за все задачи — 100 баллов.

Командный инженерный тур

Команды заключительного этапа получали за командный инженерный тур от 0 до 100 баллов: команда, набравшая наибольшее число баллов среди других команд, становилась командой-победителем.

Все результаты команд нормировались по формуле:

$$\frac{100 \times x}{MAX},$$

где x — число баллов, набранных командой,

MAX — число баллов, максимально возможное за инженерный тур.

В заключительном этапе олимпиады индивидуальные баллы участника складываются из двух частей, каждая из которых имеет собственный вес: баллы за индивидуальное решение задач по предметам (информатика, физика) с весом $K_1 = 0,15$ каждый предмет и баллы за командное решение задач инженерного тура с весом $K_2 = 0,7$.

Итоговый балл определяется по формуле:

$$S = K_1 \cdot (S_1 + S_2) + K_2 \cdot S_3,$$

где S_1 — балл первой части заключительного этапа по информатике (предметный тур) в стобалльной системе ($S_{1 \text{ макс}} = 100$);

S_2 — балл первой части заключительного этапа по физике (предметный тур) в стобалльной системе ($S_{2 \text{ макс}} = 100$);

S_3 — итоговый балл инженерного командного тура в стобалльной системе ($S_{3 \text{ макс}} = 100$).

Итого максимально возможный индивидуальный балл участника заключительного этапа = 100 баллов.

Критерий определения победителей и призеров

Чтобы определить победителей и призеров (независимо от класса) на основе индивидуальных результатов участников, был сформирован общий рейтинг всех участников заключительного этапа. С начала рейтинга были выбраны 9 победителей и 20 призеров (первые 25% участников рейтинга становятся победителями или призерами, из них первые 8% становятся победителями, оставшиеся — призерами).

Критерий определения победителей и призеров (независимо от уровня)

Категория	Количество баллов
Победители	81,89 и выше
Призеры	От 75,85 до 80,42

Работа наставника после НТО

Участие школьника в Олимпиаде может завершиться после любого из этапов: первого или второго отборочных либо после заключительного этапа. В каждом случае после завершения участия наставнику необходимо провести с учениками рефлексию — обсудить полученный опыт и проанализировать, что позволило достичь успеха, а что привело к неудаче.

Важная задача наставника — превратить неудачу в инструмент будущего успеха. Для этого необходимо вместе с учениками наметить план развития компетенций и подготовки к будущему сезону Олимпиады. Подробные материалы о проведении рефлексии представлены в курсе «Наставник НТО»: <https://academy.sk.ru/events/310>.



Наставнику важно проинформировать руководство образовательного учреждения, если его учащиеся стали финалистами, призерами и победителями. Публичное признание высоких результатов дополнительно повышает мотивацию.

В процессе рефлексии с учениками, не ставшими призерами или победителями, рекомендуется уделить особое внимание особенностям командной работы: распределению ролей, планированию работы, возникающим проблемам. Для этого могут использоваться опросники для самооценки собственной работы и взаимной оценки участниками других членов команды (P2P). Такие опросники могут выявить внутренние проблемы команды, для решения которых в план подготовки можно добавить мероприятия, направленные на ее сплочение.

Стоит рассказать, что в истории НТО было много примеров, когда не победив в первый раз, на следующий год участники показывали впечатляющие результаты, одержав победу сразу в нескольких профилях. Конечно, важно отметить, что так происходит только при учете прошлых ошибок и подготовке к Олимпиаде в течение года.

Еще одним направлением работы наставника после НТО может стать создание кружка по направлению профилей или по формированию необходимых компетенций: программирование, электроника, робототехника, 3D-моделирование и т. п. Формат подобного кружка может быть различным: короткие модули, дополнительные курсы, факультативы, группы дополнительного образования. Для создания кружков можно воспользоваться образовательными программами, опубликованными на сайте НТО: <https://ntcontest.ru/mentors/education-programs/>.



Важным фактором успешного участия в следующих сезонах НТО может стать поддержка родителей учеников. Знакомство с родителями помогает наставнику продемонстрировать им важность компетенций, развиваемых в процессе участия в НТО, для будущего образования и карьеры школьников. Поддержка родителей помогает мотивировать участников и позволяет выделить необходимое время на занятия в кружке.

С участниками-выпускниками наставнику рекомендуется обсудить их дальнейшее профессиональное развитие и его связь с выбранными профилями НТО. Отдельно можно обратить внимание на льготы для победителей и призеров, предлагаемые в вузах с интересующими ученика направлениями. Кроме того, ряд вузов предлагает льготы для всех финалистов НТО, а также учитывает результаты Конкурса цифровых портфолио «Талант НТО».

